

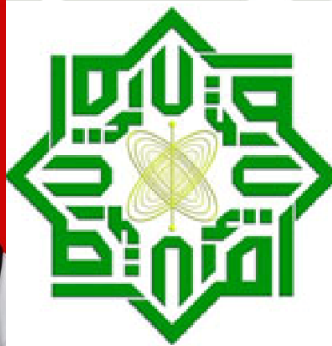
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DESAIN KENDALI OPTIMAL METODE *LINEAR QUADRATIC GAUSSIAN* (LQG) UNTUK PENGENDALIAN SISTEM SUSPENSI KENDARAAN SEPEREMPAT

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



UIN SUSKA RIAU

Oleh :

JIA DOFELA
11455205796

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2019

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN

DESAIN KENDALI OPTIMAL METODE *LINEAR QUADRATIC GAUSSIAN* (LQG) UNTUK PENGENDALIAN SISTEM SUSPENSI KENDARAAN SEPEREMPAT

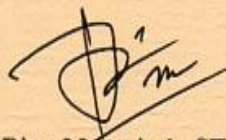
TUGAS AKHIR

Oleh:

JIA DOFELA
11455205796

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 11 Oktober 2019

Pembimbing I



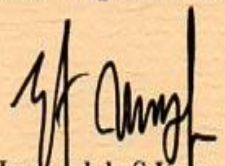
Dian Mursvitah, ST,MT
NIP. 19870906 201503 2 006

Pembimbing II



Aulia Ullah, ST,M.Eng
NIP. 19850618 201503 1 003

Ketua Program Studi



Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom
NIP. 19750922 200912 2 002

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN KENDALI OPTIMAL METODE *LINEAR QUADRATIC GAUSSIAN* (LQG) UNTUK PENGENDALIAN SISTEM SUSPENSI KENDARAAN SEPEREMPAT

TUGAS AKHIR

Oleh:

JIA DOFELA
11455205796

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 11 Oktober 2019


Pekanbaru, Oktober 2019

Mengesahkan,


Dekan

Dr. Drs. H. Mas'ud Zein, M.Pd
NIP. 19631214 198803 1 002

Ketua Program Studi


Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom
NIP. 19750922 200912 2 002

DEWAN PENGUJI :

Ketua : Mulyono, ST., MT
Sekretaris I : Dian Mursyitah, ST., MT
Sekretaris II : Aulia Ullah, ST., M.Eng
Anggota I : Ahmad Faizal, ST., MT
Anggota II : Halim Mudia, ST., MT







LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan di catat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

UIN SUSKA RIAU

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah di jadikan oleh saya maupun orang lain untuk kepentingan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah di tulis atau di terbitkan oleh orang lain kecuali di sebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Pekanbaru, 11 Oktober 2019

Yang Membuat Pernyataan

JIA DOFELA
NIM. 11455205796

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang menyalin sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مَنْ أَرَادَ الدُّنْيَا فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ، وَمَنْ أَرَادَ الْآخِرَةَ فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ، وَمَنْ أَرَادَهُمَا فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ

"Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia maka wajib baginya memiliki ilmu, dan barang siapa yang menghendaki kehidupan akherat, maka wajib baginya memiliki ilmu, dan barang siapa menghendaki keduanya maka wajib baginya memiliki ilmu". (HR. Turmudzi)

Yang pertama dan paling utama.....

Sembah sujud serta syukur kepada Allah SWT, zat yang Maha Pengasih namun tak pernah pilih kasih dan Maha Penyayang yang kasih sayang-Nya tak terbilang. Engkau zat yang Maha membolak-balikkan hati, teguhkanlah hati ini di atas agama-Mu ya Allah. Lantunan sholawat beriring salam penggugah hati dan jiwa, menjadi persembahan penuh kerinduan pada sosok panutan umat, pembangun peradaban manusia yang beradab Nabi Besar Muhammad SAW.

Berakit-rakit ke hulu, berenang ketepian
Bersakit-sakit dahulu, untuk menempah diri dimasa depan
Hidup hanya sekali, buatlah menjadi lebih berarti
Dengan hanya mengharap ridho-Mu semata,

Ku persembahkan karya ini untuk Ayahanda tercinta (Dotrin) sosok pejuang dalam hidupku yang tak pernah mengenal kata lelah, resah apalagi mengeluh serta Ibunda tersayang (Novesni) malaikat tanpa sayap dalam hidupku yang tak kenal waktu siang dan malam selalu menjaga dan melindungi hingga aku bisa sampai seperti sekarang ini, Kakak dan Adikku tercinta, seluruh keluarga serta tak lupa sahabat, teman dan seluruh keluarga besar teknik elektro UIN SUSKA RIAU yang doanya senantiasa mengiringi setiap derap langkahku dalam meniti kesuksesan. Manjadda Wajada

(Jia Dofela 2019)

DESAIN KENDALI OPTIMAL METODE *LINEAR QUADRATIC GAUSSIAN* (LQG) UNTUK PENGENDALIAN SISTEM SUSPENSII KENDARAAN SEPEREMPAT

JIA DOFELA
11455205796

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas KM 15 No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Sistem suspensi kendaraan seperempat merupakan salah satu bagian *chassis* yang berfungsi untuk memberikan kenyamanan bagi pengendara maupun penumpang. Implementasinya sistem suspensi kendaraan seperempat terdapat kendala yaitu masih terdapat guncangan atau getaran yang besar. Terkait dari hasil penelitian pendahuluan didapatkan, simulasi respon sistem yang dihasilkan pada sistem suspensi kendaraan seperempat masih terdapat *overshoot* dan osilasi. Penelitian ini mengusulkan metode *Linear Quadratic Gaussian* (LQG) untuk mengurangi *overshoot* dan osilasi. Pengendali LQG ini dilakukan penalaan dengan mengatur harga pembobot dengan nilai $Q = 250$, $R = 1.85$, $Q_f = 6000$, dan $R_f = 0.001$. Metode yang digunakan heuristik diujikan secara simulasi dengan *setpoint* 1 m. Berdasarkan indeks performansi minimum menggunakan *Integral of Absolute Error* (IAE), didapatkan hasil nilai IAE yang terkecil sebesar 0.2407. Dari hasil uji kendali optimal LQG mampu mencapai waktu yang stabil dibuktikan dengan *rise time* yang cepat yaitu 0.44 detik, *delay time* 0.193 detik, *settling time* 0.704 detik, *overshoot* 0% dan *error steady state* 0.

Kata kunci : *Integral of Absolute Error* (IAE), *Linear Quadratic Gaussian* (LQG), *Suspen*

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengutip sumbernya.
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

OPTIMAL CONTROL DESIGN OF LINEAR QUADRATIC DESIGN (LQG) METHOD FOR CONTROL OF SUSPENSION SYSTEM A QUARTER CAR

JIA DOFELA
11455205796

Department of Electrical Engineering
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Soebrantas St. KM 15 No. 155 Pekanbaru – Indonesia

ABSTRACT

The suspension system quarter car is one part of the chassis that serves to provide comfort for motorists and passengers. Implementation of a quarter suspension vehicle system some obstacles are still large shocks or vibrations. Related to the results of the preliminary research, the simulation of the system response generated in a quarter suspension system still has overshoot and oscillation. This study proposes the Linear Quadratic Gaussian (LQG) method to reduce overshoot and oscillation. The LQG controller is tuned by adjusting the weighting matrix with values $Q = 250$, $R = 1.85$, $Q_f = 6000$, and $R_f = 0.001$. The method used by heuristics was tested in simulations with a 1 m setpoint. Based on the minimum performance index using Integral of Absolute Error (IAE), the smallest IAE value is obtained at 0.2407. The LQG optimal control test results can achieve a stable time, as evidenced by the fast rise time of 0.44 seconds, 0.193 seconds delay time, 0.704 seconds settling time, 0% overshoot, and 0 steady-state errors.

Keyword : Integral of Absolute Error (IAE), Linear Quadratic Gaussian (LQG), Suspension

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Alhamdulillah Rabbil Alamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah swt, berkat rahmat dan karunia yang telah dilimpahkan-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“DESAIN KENDALI OPTIMAL METODE LINEAR QUARATIC GAUSSIAN (LQG) UNTUK PENGENDALIAN SISTEM SUSPENSI KENDARAAN SEPEREMPAT”**. Shalawat beriringan salam semoga tetap tercurah kepada junjungan alam yakni nya Nabi Muhammad SAW. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan dalam menyelesaikan Mata Kuliah **Tugas Akhir** di Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Banyak sekali pihak yang telah membantu dalam menyusun tugas akhir ini, baik secara moril maupun materi. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada

1. Allah SWT yang selalu memberikan segala nikmat-Nya, terutama nikmat iman dan nikmat kesehatan yang membuat penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Ayahanda Dotrin, Ibunda Novesni, Kakak Jenny Novia Riski, Amd. k3, Jelsi Fedoresti, Amd.kG dan Adik Alfian Rahmat yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materi dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
3. Bapak Prof. Dr. Akhmad Mujahidin, S.Ag., M.Ag. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
4. Bapak Dr. Drs. H. Mas'ud Zein, M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim-Riau
5. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Bapak Mulyono, ST.,MT selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Ibu Dian Mursyitah, ST.,MT dan Aulia Ullah S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing tugas akhir yang senantiasa meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing serta memotivasi penulis hingga dapat menyelesaikan tugas akhir

Ibu Rika Susanti, ST.,M.Eng selaku dosen Penasehat Akademik yang mengarahkan dan membimbing penulis dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) di Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Elektronika Instrumentasi Fakultas Sains dan Teknologi.

9. Bapak / Ibu dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan ilmu dan motivasi dalam pelaksanaan tugas akhir ini.
10. Para sahabat Ivoni fezania, S.Sos, Wulandari, S.Sos, Gustriana Putri, ST, Putri Apri diani, SH, Yulia Sartika,S.Pd, Rada Guspita Wanda S.P, Nikmal Efendi, ST, Yames Ditosma, ST, Nabilla Miranda, ST, Gallardo Legena, Alkautsar, ST, yang selalu membantu, menyemangati dan menemani penulis dari awal perkuliahan hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan kuliah.
11. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2014, kakak-kakak tingkat serta adik-adik tingkat yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Terimakasih atas dukungan, kerjasama dan pengorbanan yang telah diberikan kepada penulis selama ini.

Penulis menyadari dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan serta kesalahan untuk itu penulis mengharapkan adanya masukan berupa kritik maupun saran dari berbagai pihak untuk kesempurnaan tugas akhir ini.

Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Pekanbaru, 11 Oktober 2019

Jia Dofela

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-4
1.3 Tujuan Penelitian	I-4
1.4 Batasan Masalah	I-5
1.5 Manfaat Penelitian	I-5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait.....	II-1
2.2 Sistem Suspensi	II-3
2.3 Kendali Optimal LQG.....	II-7
2.3.1 Tahapan Perancangan LQG	II-10
2.4 Metode Heuristic.....	II-11
2.5 Interpolasi Data	II-12

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.6	Indetifikasi Sistem	II-13
2.7	Kriteria Integral Menggunakan IAE (<i>Integral of Absolute Error</i>)	II-14
2.8	Perangkat Lunak Matlab	II-14

BAB III METODELOGI PENELITIAN

3.1	<i>Flow Chart</i> Metode Penelitian	III-1
3.2	Validasi Model Matematis	III-4
3.3	Perancangan Pengendali LQG	III-5

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Gambaran Umum Analisa Sistem.....	IV-1
4.2	Hasil Simulasi Sistem	IV-1
4.2.1	Hasil Simulasi Sistem Suspensi Model Kendaraan Seperempat Tanpa Pengendali	IV-2
4.2.1	Analisa Simulasi Sistem Suspensi Model Kendaraan Seperempat Tanpa Pengendali	IV-3
4.3	Hasil Pengujian Pengendali LQG Dalam Pencapaian <i>Set point</i> Pada Sistem Suspensi Model Kendaraan Seperempat.....	IV-3
4.3.1	Hasil Penalaan Matriks Q dan R, Q_f dan R_f , Optimal dengan Analisa <i>Integral of Absolute Error</i> (IAE).....	IV-3
4.3.2	Hasil simulasi Kendali Optimal <i>Linear Quadratic Gaussian</i> untuk Mencapai <i>Setpoint</i>	IV-4
4.3.3	Analisa simulasi Kendali Optimal <i>Linear Quadratic Gaussian</i> untuk Mencapai <i>Setpoint</i>	IV-10

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran	V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDU

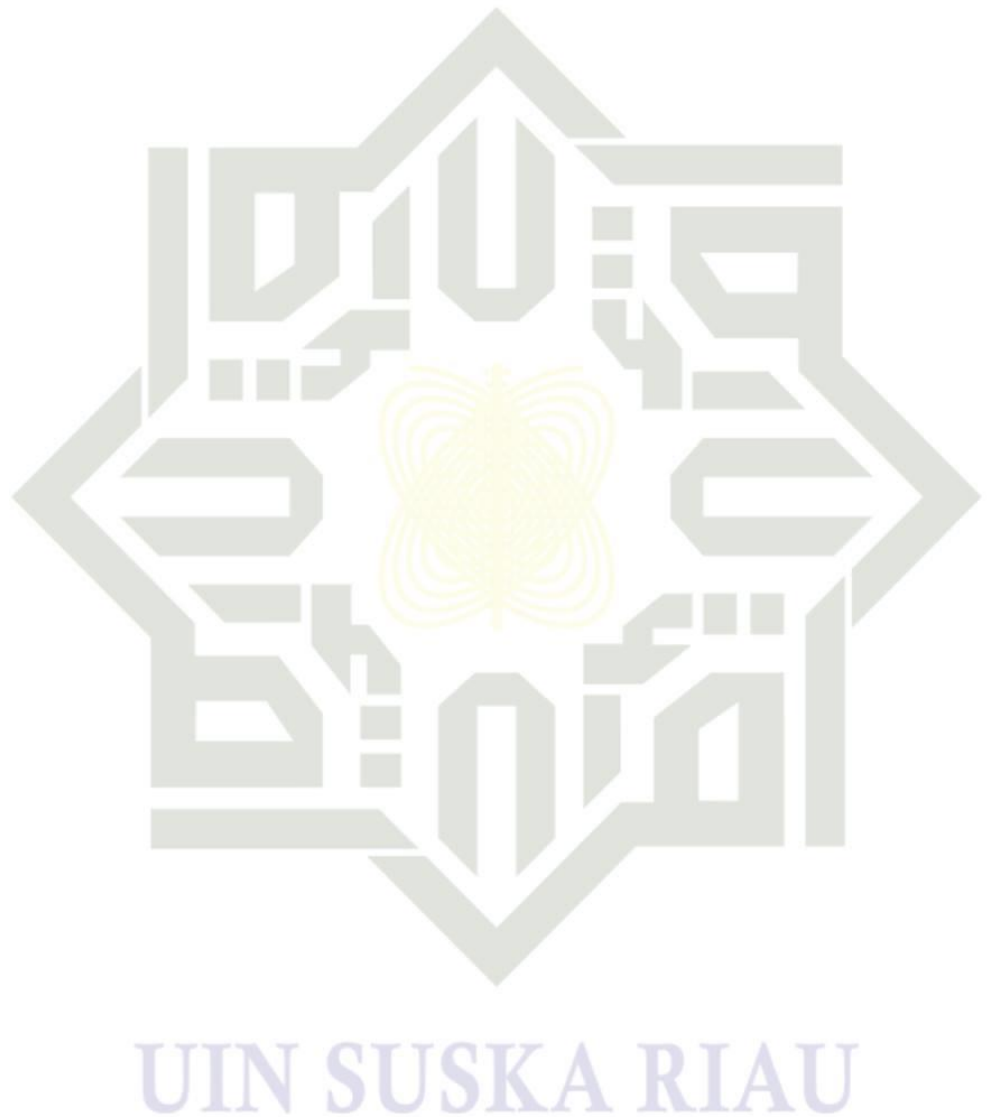
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Jenis Gerakan Pada Sistem Suspensi.....	II-4
Sistem Suspensi Model Kendaraan Seperempat	II-4
Diagram Skematik Dari Quarter-Car Suspensi	II-5
Diagram Blok LQG	II-8
Kurva Untuk Interpolasi Linier	II-11
Respon Sistem	II-13
Tampilan Matlab	II-14
Flowchart Penelitian	III-2
Diagram Blok Simulasi <i>Open Loop</i>	III-4
Hasil Respon Sistem <i>Transfer Fungsi Secara Open Loop</i>	III-5
Blok Simulasi Pengendali Optimal LQG	III-8
Tampilan Tuning Matriks Pembobot Kendali LQG Pada M-File	III-9
Blok <i>Simulink</i> Sistem Suspensi Model Kendaraan Seperempat Secara <i>Open Loop</i> Tanpa Pengendali	IV-2
Hasil Respon Sistem Secara Open Loop	IV-2
Data Keluaran Respon Sistem Suspensi Model Kendaraan Seperempat Tanpa Pengendali	IV-3
Blok <i>Simulink</i> Sistem Suspensi Model Kendaraan Seperempat Menggunakan Pengendali Optimal LQG	IV-5
Hasil Respon Kendali Optimal LQG pada Sistem Suspensi Model Kendaraan Seperempat	IV-6
Data <i>Delay Time</i> Pada <i>Workspace</i> Menggunakan Pengendali LQG.....	IV-7
Data <i>Rise Time</i> 10% Pada <i>Workspace</i>	IV-7
Data <i>Rise Time</i> 90% Pada <i>Workspace</i>	IV-8
Data <i>Settling Time</i> Pada <i>Workspace</i>	IV-9

DAFTAR TABEL

Halaman

Respon <i>transient</i> LQG pada sistem Suspensi Kendaraan Seperempat	IV-10
---	-------



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR SIMBOL

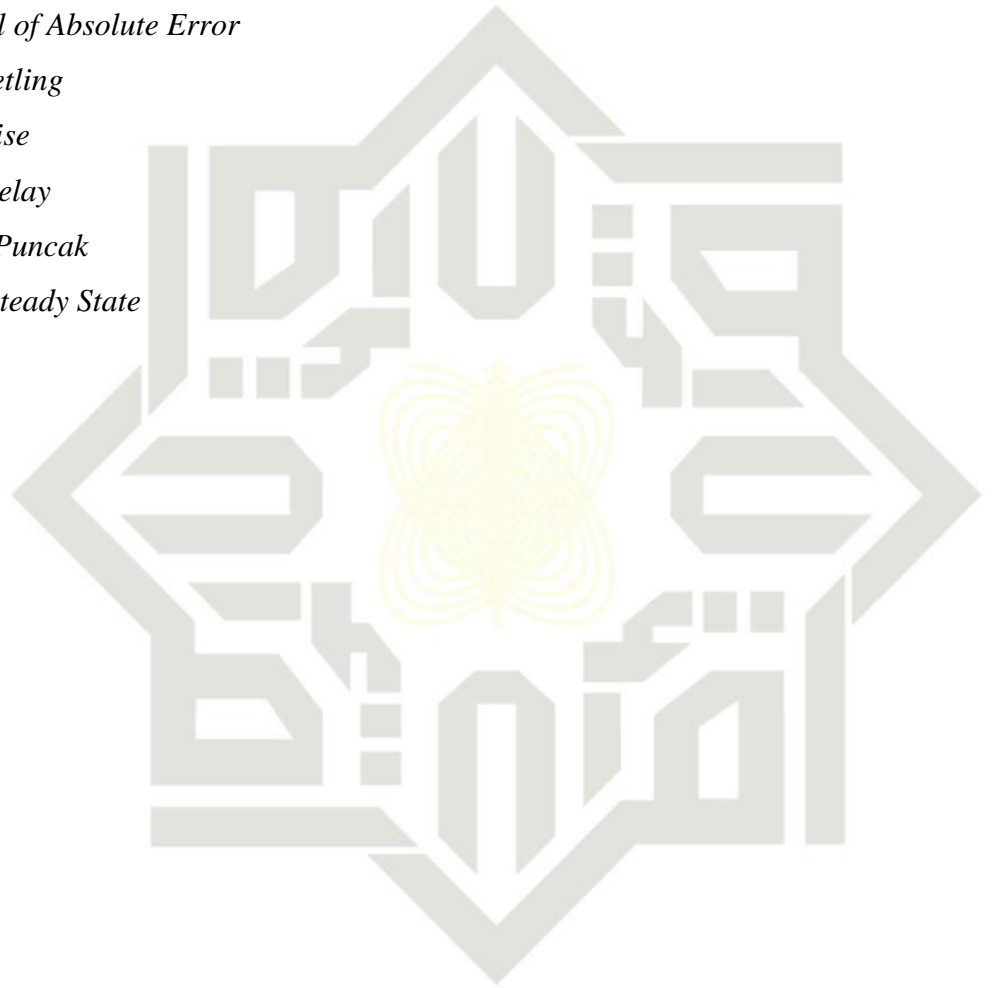
integral
hampir sama dengan
kecil dari
besar dari
waktu
matriks sistem
matriks input
matriks output
state output
sinyal kendali input
gangguan proses
gangguan pengukuran
waktu awal
matriks state akhir
matriks bobot keadaan
matriks control
noise covariance
noise covariance
matriks semi definit positif
system persamaan differensial
penguatan umpan balik
penguatan kalman filter
solusi dari persamaan aljabar riccati
transpose dari A
transpose dari B
invers dari

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR SINGKATAN

Linear Quadratic Gaussian
Linear Quadratic Regulator
Magnetic Levitation
Integral of Absolute Error
Time Settling
Time Rise
Time Delay
Waktu Puncak
Error Steady State



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB I

PENDAHULUAN

1. LATAR BELAKANG

Kenyamanan bermobil merupakan faktor utama yang harus diperhatikan oleh pengemudi maupun penumpang. Namun demikian, mobil akan selalu mengalami getaran atau guncangan yang disebabkan oleh mesin itu sendiri atau karena kondisi jalan yang tidak rata. Ketika mobil melaju kencang dan melewati jalan gelombang yang terjadi adalah mobil sedikit melayang karena ban tidak menempel dengan baik sehingga kehilangan traksi. Untuk mengurangi getaran dan guncangan tersebut setiap mobil perlu dilengkapi dengan sistem suspensi. Sistem suspensi ini juga memiliki dampak negatife bagi pengguna apabila sistem suspensinya tidak berguna dengan baik penumpang akan mengalami guncangan yang dirasa tidak nyaman, mobil sulit dikuasai dan bila terjadi guncangan yang kuat dapat merusak kendaraan atau penumpang dan barang bawaan.

Sistem suspensi adalah salah satu bagian chasis yang berfungsi untuk memberikan kenyamanan bagi pengemudi atau penumpang. Sistem suspensi terletak antara body mobil dan roda-roda, dirancang untuk menyerap kejutan dari permukaan jalan yang bergelombang sehingga menambah kenyamanan berkendara dan memperbaiki kemampuan cengkraman roda terhadap jalan. Suspensi terdiri atas pegas, shock absorber (peredam kejut, stabilizer dan sebagainya) [1]. Kegunaan suspensi ini untuk memaksimalkan gesekan antara ban dan permukaan jalan, untuk memberikan stabilitas kemudi dengan penanganan yang baik dan untuk menjamin kenyamanan penumpang.

Satu unit sistem suspensi pada kendaraan pada umumnya terdiri atas sebuah pegas dan sebuah peredam kejut yang terdiri dari besaran massa, gaya yang bekerja pada pegas dan konstanta pegas dan peredam kejut [2]. Sistem suspensi dapat diklasifikasi menjadi pasif, aktif dan semi-aktif. Pada sistem suspensi pasif, komponen yang digunakan masih konvensional dan memiliki karakteristik tetap, yaitu pegas yang tidak dapat dikontrol dan peredam penyerap getaran. Sistem suspensi semi-aktif terdiri dari komponen pasif dan aktif. Sedangkan sistem suspensi aktif tidak memiliki komponen pasif. Saat ini, suspensi aktif ditandai dengan aktuatur hidrolik yang ditempati secara seri (*low bandwith*) atau paralel (*high bandwith*) dengan pegas

dan peredam. Pegas dan peredam merupakan komponen utama yang menyusun suatu sistem suspensi, yang berfungsi untuk menopang badan kendaraan, meredam getaran ketika kendaraan berinteraksi dengan jalan [3].

Model dinamis kendaraan terdiri dari beberapa jenis sesuai dengan kebutuhannya, diantaranya adalah model seperempat kendaraan, setengah kendaraan dan *full* kendaraan. Untuk memudahkan dalam menganalisis karakteristik dari sistem suspensi maka pada penelitian ini digunakan model kendaraan seperempat. Pada model kendaraan seperempat, membagi sistem suspensi menjadi empat bagian dengan asumsi setiap suspensi pada keempat roda kendaraan simetris. Massa badan kendaraan yang diperhitungkan pada setiap suspensi merupakan massa badan kendaraan keseluruhan dibagi empat [4].

Dalam perkembangannya tidak semua sistem suspensi mampu memberikan kenyamanan yang baik. Suspensi yang baik mampu meredam *overshoot* dan osilasi yang terus menerus akibat benturan. Beberapa penelitian terdahulu terkait sistem suspensi kendaraan seperempat menggunakan pengendali PID dan Logika *Fuzzy* [3] didapatkan hasilnya menunjukkan pada kendali PID mengalami *Overshoot* sebesar 2.09% sedangkan pada kendali FLC mengalami *Overshoot* nya sebesar 2.78%. Penelitian lainnya yang membahas pengendali PID pada sistem *Quarter-Car* menggunakan algoritma genetik pada penelitian menjelaskan bagaimana merancang pengendali PID menggunakan metode ZN (*Ziegler Nichols*) dan GA (*Genetic Algorithm*) [5] Pada penelitian ini kelemahan yang disebutkan adalah pengendali PID belum mampu mencapai kestabilan yang baik terbukti dengan masih adanya *overshoot* pada metode ZN sebesar 31.8% dan pada metode GA sebesar 17.5%.

Contoh penelitian selanjutnya yang membahas pengendalian sistem suspensi menggunakan pengendali P, PI, PID, GA-PID, and Auto Tuned PID Controller dalam matlab [6]. Sistem mencapai kestabilan yang baik bisa dilihat pada waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kondisi stabil. Akan tetapi pada penelitian ini masih terdapat *overshoot* pada PID sebesar 3.8%, pada GA-PID sebesar 0.8% dan pada Auto tuned PID sebesar 1.8%. Selanjutnya penelitian yang membahas pengendali sistem suspensi model kendaran seperempat menggunakan pengendali LQR dan PID [7] menyebutkan bahwa LQR tidak dapat menghasilkan kenyamanan kendaraan yang baik dibandingkan dengan PID. PID juga tidak dapat berfungsi untuk memberikan

kenyamanan berkendara yang lebih baik jika dibandingkan dengan LQR. Dan kemudian penelitian selanjutnya membahas tentang perancangan sistem suspensi kendaraan roda empat menggunakan pengendali jenis *robust* proporsional, *integral* dan *derivative* [8] pada penelitian ini dijelaskan bahwa sistem suspensi aktif mampu meredam getaran akibat ketidakrataan permukaan jalan sebesar 99% dan dengan rancangan sistem suspensi aktif nilai ITAE dan IAE jauh lebih kecil dibandingkan suspensi pasif, sehingga sistem ini sangat baik untuk diaplikasikan.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sistem suspensi memiliki masalah pada *overshoot* dan osilasi. *Overshoot* merupakan tanda ketidakstabilan sistem karena *overshoot* itu bermakna lonjakan yang terjadi ketika sistem diberi masukan. osilasi dapat disebut *flicker* atau gangguan yang mengubah bentuk gelombang menjadi rusak. Dari beberapa penelitian yang telah dirancang untuk mengatasi permasalahan pada sistem suspensi tersebut, penelitian yang dilakukan oleh Michael Akpavbi dengan menggunakan pengendali P, PI, PID, GA-PID dan Auto tuned PID Controller. Pada penelitian ini pengendali GA-PID memberikan tingkat kinerja kontrol sistem yang lebih baik dan lebih tinggi dari pengendali lainnya. Namun, pada pengendali GA-PID masih terdapat *overshoot* 0.8%. Kesimpulan dari penelitian diatas terdapat kelemahan utama adalah *overshoot*, maka dibutuhkan pengendali yang mampu menyelesaikan persoalan *overshoot*. *Overshoot* merupakan tanda ketidakstabilan suatu sistem. Hal ini dikarenakan *overshoot* merupakan lonjakan atau osilasi yang terjadi ketika sistem pertama kali diberi masukan oleh sebab itu, diperlukan pengendali yang mampu mengatasi persoalan kestabilan. Maka perlu dicari solusi untuk permasalahan sistem suspensi dalam menghadapi *overshoot* dan osilasi. Sehingga dibutuhkan nya pengendali yang mampu mengatasi persoalan kestabilan. Salah satu pengendali yang mampu mengatasi persoalan tersebut adalah pengendali optimal. Pengendali optimal tersebut terdiri antara 2 yaitu pengendali LQR dan pengendali LQG. Untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dipilih pengendali optimal *Linear Quadratic Gaussian* (LQG).

Pemilihan pengendali optimal LQG didasari pada kemampuannya dalam mengatasi permasalahan gangguan. Hal ini dibuktikan pada penelitian Shian Chen, dkk, tentang Desain optimal untuk suspensi berdasarkan kontrol LQG. Pada penelitian ini dijelaskan bahwa pengendali LQG mampu membuat kenyamanan berkendara yang sangat baik dan biaya

produksi & penggunaan yang rendah [9]. Beberapa penelitian yang dilakukan pada penelitian sebelumnya juga menunjukkan keunggulan terkait pengendali LQG. Diantaranya menyatakan bahwa pengendali LQG mampu menjaga kestabilan dari gangguan dan mampu menjaga performansi *robustness* [10], LQG juga mampu mengurangi *overshoot* dan mampu memperbaiki *error steady state* [11], kemudian pengendali LQG juga mampu mengembalikan nilai keluaran menuju *set point* setelah sistem mendapat gangguan. Hal ini disebabkan LQG memiliki *filter* kalman yang mampu mengestimasi gangguan proses dan gangguan pengukuran [12].

Berdasarkan uraian latar belakang di atas dengan keunggulan pengendali *Linear Quadratic Gaussian* (LQG) yang mampu menjaga kestabilan terhadap gangguan dan menghasilkan nilai keluaran yang optimal. Maka pada penelitian ini akan dirancang pengendali LQG untuk mengendalikan Sistem suspensi model kendaraan seperempat. Hipotesa yang muncul adalah pengendali LQG dapat menghilangkan *Overshoot* dan *Osilasi* dalam mengendalikan sistem suspensi. Oleh karena itu, penulis tertarik melakukan penelitian dengan mengambil judul tugas akhir tentang **“Desain Kendali Optimal Metode *Linear Quadratic Gaussian* (LQG) untuk Pengendalian Sistem *Suspensi* kendaraan seperempat”**.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun perumusan masalahan pada penelitian ini

1. Bagaimana mengatasi ketidakstabilan (*Overshoot* dan osilasi) sebagai akibat gangguan sinyal Gaussian pada pengendalian sistem suspensi kendaraan seperempat menggunakan perancangan kendali optimal *Linear Quadratic Gaussian* (LQG)?
2. Apa pengaruh LQG terhadap performansi sistem suspensi kendaraan seperempat ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain sebuah pengendali LQG untuk pengendalian posisi sistem suspensi kendaraan seperempat dengan fokus penelitian untuk mengatasi ketidakstabilan (*Overshoot* dan osilasi) walaupun terdapat sinyal *Gaussian*. Dan menganalisa pengaruh LQG terhadap performansi sistem suspensi kendaraan seperempat.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini diantaranya adalah:

1. Penurunan model matematis sistem dirujuk dari jurnal internasional yang berjudul *Optimization of PID Controller for Quarter-Car Suspension System Using Genetic Algorithm* [5].
2. Variable yang dikendalikan pada penelitian ini ada kestabilan pada sistem suspensi model kendaraan seperempat dengan fokus mengecilkan *overshoot* dan osilasi pada perancangan dari pengendali LQG yang telah dibuat.
3. Aplikasi yang digunakan untuk mensimulasikan model matematis dari sistem suspensi dan hasil perancangan dari pengendali *Linear Quadratic Gaussian* adalah *Matlab R2009b*;
4. Tidak membahas *hardware*;
5. Matriks R_c pada *gain regulator* dan matriks R_f pada *kalman filter* dibuat konstan yaitu masing-masing bernilai 1.85 untuk matriks R_c dan 0.001 nilai matriks R_f .

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu menghasilkan sebuah perancangan sistem kendali yang menggunakan pengendali *Linear Quadratic Gaussian* untuk mengatur sistem suspensi dan dapat dijadikan referensi tambahan bagi peneliti selanjutnya yang membahas tentang tema yang sama dengan penelitian ini dan diharapkan dapat diimplementasikan dalam keadaan sebenarnya atau *real*.

BAB II

TINJAU PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya dan terdapat penjelasan tentang dasar teori yang dipakai dalam mengerjakan Tugas Akhir ini. Dasar teori tersebut meliputi : dinamika sistem Suspensi, permodelan matematis Suspensi, identifikasi sistem, pengendali *Linear Quadratic Gaussian* (LQG) dan perangkat lunak MATLAB.

2.1 Penelitian Terkait

Performansi sistem yang baik adalah sistem yang mampu mengatasi gangguan. Gangguan merupakan faktor ketidakpastian yang dapat terjadi dalam sistem dan tidak dapat diprediksi. Gangguan yang muncul pada sistem dapat diatasi dengan cara memilih dan merancang pengendali yang memiliki sifat kokoh terhadap gangguan, sehingga kekokohan sistem dapat terjaga. Dalam Penelitian Tugas Akhir ini dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian teori serta referensi yang relevan dengan kasus dan permasalahan yang akan diselesaikan, teori dan referensi didapat dari jurnal, paper, buku dan sumber lainnya.

Untuk menyelesaikan masalah suspensi pada mobil seperempat ini, sebuah penelitian yang membahas sistem suspensi seperempat mobil menggunakan algoritma genetika dan mencoba mengimplementasikannya dengan pengendali PID. Permasalahan dalam penelitian ini adalah kesulitan dalam mencari konstanta PID yang tepat, untuk itu metode Ziegler Nichols (ZN) digunakan untuk mencari konstanta PID tersebut. Lalu kelemahan konstanta PID menggunakan ZN dibandingkan dengan pengendali menggunakan Genetic Algorithm (GA). Hasil yang didapatkan pengendali PID dengan ZN belum mampu mencapai kestabilan yang baik, masih terdapat *overshoot* sebesar 31.8% dan pada PID menggunakan metode GA sebesar 17.5%. Perlu perbaikan menggunakan metode lain untuk mengecilkan permasalahan *overshoot* tersebut [5].

Kemudian penelitian selanjutnya membahas tentang Desain dan Analisis kendali sistem suspensi menggunakan PID dan Logika *Fuzzy*. Pada penelitian ini PID melakukan pengujian sebanyak 6 kali sehingga dapat mengetahui pengaruh pemberian penguatan terhadap hasil performansi sistem, sedangkan pengujian pada FLC dilakukan dengan tiga variasi aturan *fuzzy* yaitu 7 aturan, 25 aturan dan 49 aturan. Dalam penelitian ini dapat disimpulkan tanggapan sistem

Kendali PID dengan nilai rata-rata (t_s) = 1.7 detik, (t_r) = 0.304 detik dan overshoot sebesar 2.09%, sedangkan kendali FLC dihasilkan (t_s) = 1.05detik, (t_r) = 0.4 detik dan overshoot sebesar 2.78%. jadi disimpulkan bahwa kendali PID mampu meningkat kinerja dari pada kendali FLC. Kendali PID juga mampu menghasilkan overshoot yang lebih kecil dari pada metode sebelumnya [4].

Pada penelitian ini menjelaskan pengendalian sistem suspensi menggunakan pengendalian PID, GA-PID dan Auto tuned PID. Sistem mencapai kestabilan yang baik bisa dilihat pada waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kondisi stabil pada PID yaitu sebesar 1.5 detik, pada GA-PID sebesar 1.1 detik dan pada Auto tuned PID sebesar 1.3 detik dengan waktu simulasi selama 10 detik. Akan tetapi pada penelitian ini masih terdapat overshoot pada PID sebesar 2.09%, pada GA-PID sebesar 0.8% dan pada Auto tuned PID sebesar 1.8%. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pengendali GA-PID lebih baik dari pada pengendali PID dan Auto tuned PID. Pengendali GA-PID juga menghasilkan overshoot yang lebih kecil dari pada pengendali sebelumnya. Namun, masih diperlukannya upaya pengendali lain untuk mencoba menghilangkan overshoot tersebut [6].

Penelitian sebelumnya juga dilakukan dengan judul “*Modeling and Control Active Suspension System for a Quarter Car Model*” menjelaskan bahwa LQR tidak dapat menghasilkan kenyamanan kendaraan yang baik dibandingkan dengan PID. PID juga tidak dapat berfungsi untuk memberikan kenyamanan berkendara yang lebih baik jika dibandingkan dengan LQR. Jadi disimpulkan pada penelitian ini bahwa pengendali optimal LQR belum mampu menghasilkan kenyamanan yang baik pada sistem suspensi. Maka diperlukan mencoba pengendali optimal yang lain untuk menghasilkan kenyamanan pengendara yang baik [7]. Berdasarkan penelitian “Perancangan Sistem Suspensi Aktif pada Kendaraan Roda Empat Menggunakan Pengendali Jenis *Robust Proporsional, Integral dan Derivatif*” menjelaskan suspensi aktif menghasilkan nilai IAE = 0.04 dan ITAE = 2.24 sedangkan suspensi pasif menghasilkan nilai IAE = 75.4 dan ITAE = 339.3. maka pada penelitian ini, sistem suspensi aktif mampu meredam getaran akibat ketidakrataan jalan sebesar 99% lebih. Sehingga sistem ini sangat baik untuk diaplikasikan. Pada penelitian ini disimpulkan bahwa sistem suspensi aktif lebih baik dari pada sistem suspensi pasif [8].

Penelitian terkait pengendali LQG yang dilakukan pada penelitian sebelumnya yang dilakukan dengan judul “*An Optimal Design for Suspension Based on LQG Control*” menjelaskan bahwa pengendali LQG mampu membuat kenyamanan berkendara yang sangat baik dan biaya produksi & penggunaan yang rendah [9]. Penelitian sebelumnya juga menyatakan bahwa pengendali LQG mampu menjaga kestabilan dari gangguan dan mampu menjaga performansi *robustness* [10], LQG juga mampu mengurangi *overshoot* dan mampu memperbaiki *error steady state* [11], serta pengendali LQG mampu mengembalikan nilai keluaran menuju *setpoint* setelah sistem mendapat gangguan, dan jika dibandingkan dengan LQR, LQG lebih unggul dalam mengatasi gangguan karena memiliki estimator yang berupa kalman filter [12].

Berdasarkan kajian pustaka di atas menunjukkan bahwa pengendali *linear quadratic gaussian* memiliki keunggulan antara lain mampu mengurangi *overshoot*, osilasi, mampu memperbaiki *error steady state*, serta memiliki kemampuan mengatasi gangguan dibandingkan dengan pengendali lain. Oleh karena itu, pengendali LQG sangat tepat digunakan pada sistem yang rentan terhadap gangguan seperti suspensi. Sehingga pada penelitian ini penulis tertarik untuk mengembangkan penelitian tentang pengendalian posisi dengan menggunakan pengendali LQG pada sistem suspensi.

2.2 Sistem Suspensi

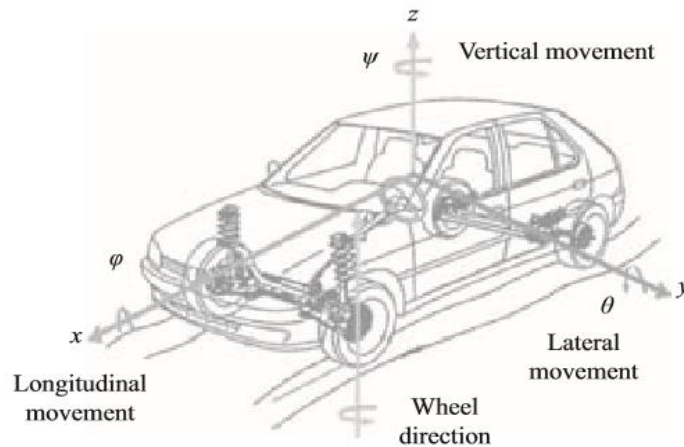
Sistem suspensi aktif memiliki kemampuan untuk mengurangi percepatan massa yang bermunculan secara terus menerus dan juga meminimalkan defleksi suspensi, yang menghasilkan peningkatan cengkraman roda dengan permukaan jalan, dengan demikian rem, kontrol traksi dan kemampuan gerakan kendaraan bisa jauh lebih baik. Tujuan dari sistem suspensi adalah untuk memberikan perjalanan yang mulus dalam mobil dan untuk membantu menjaga mengendalikan kendaraan di medan yang kasar atau dalam hal terjadi pemberhentian tiba-tiba, peningkatan kenyamanan pengendaraan menghasilkan lebih besar gaya suspensi dan redaman yang lebih kecil pada roda [13].

Pada penelitian ini digunakan model kendaraan seperempat. Model kendaraan seperempat ini adalah model paling sederhana. Ia hanya mempengaruhi vertical gerakan badan kendaraan dan roda. Model ini juga mempermudah dalam menganalisis karakteristik dari sistem

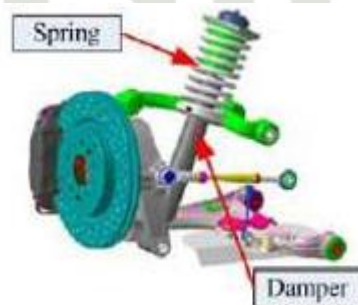
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Ketika mencari kenyamanan, kita bias pertimbangkan hanya perpindahan tubuh bukan roda. Model ini disebut model mobil kuartal 1 DOF (tingkat kebebasan). Pada model kendaraan seperempat, membagi sistem suspensi menjadi empat bagian dengan asumsi setiap suspensi pada keempat roda kendaraan simetris. Massa badan kendaraan yang diperhitungkan pada setiap suspensi merupakan massa badan kendaraan keseluruhan dibagi empat. Gambar 2.1 menunjukkan berbagai jenis dari gerakan sistem suspensi. Gambar 2.2 menunjukkan sistem suspensi model kendaraan seperempat [14].



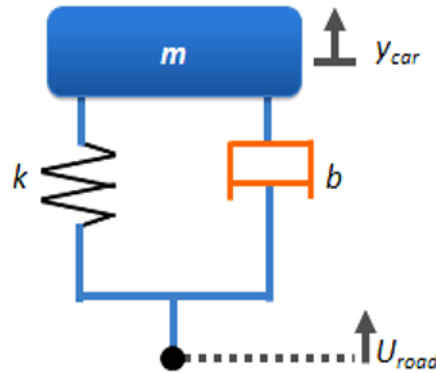
Gambar 2.1 Jenis Gerakan Pada Sistem Suspensi [14]



Gambar 2.2 Sistem Suspensi Model Kendaraan Seperempat [4]

Model suspensi mobil seperempat adalah salah satu dari empat suspensi di mobil yang khas. Sistem order kedua ini, dapat didekati sebagai sistem massa pegas peredam, dengan input sebagai perubahan ketinggian jalan yaitu gangguan yang ada di jalan dan output sebagai perpindahan vertical dari badan mobil. Dinamika sistem dapat dimodelkan menggunakan

persamaan diferensial orde kedua yang diberikan oleh persamaan 2.1 dan diagram skematik pada gambar 2.3 [5].



Gambar 2.3 Diagram Skematik Dari Quarter-Car Suspensi [5]

Dimana

m = Massa Kendaraan

k = Konstanta Pegas

b = konstanta peredam

Dari pemodelan diatas gaya yang bekerja pada massa m adalah gaya pegas / *spring force* (F_s) dan gaya peredam / *damping force* (F_d). Dimana gaya pegas nilainya sebanding dengan nilai konstanta pegas (k) serta jarak perpindahan (vertikal) dari posisi keseimbangan (y) sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$F_s = -ky \quad (2.1)$$

Tanda negative menunjukan gaya yang bekerja akan mengembalikan massa m ke posisi keseimbangan. Sedangkan untuk gaya peredam, dimana b adalah koefiien peredam mempengaruhi besarnya nilai kecepatan massa m pada arah vertikal.

Sehingga

$$F_d = -b \frac{dy}{dt} \quad (2.2)$$

Tanda negative menunjukkan bahwa gaya yang bekerja berlawanan dengan arah kecepatan

Dimana

y = posisi

kecepatan

$\frac{dy}{dt}$ = percepatan

Sistem suspensi kendaraan diturunkan berdasarkan persamaan Hukum Newton II sebagai berikut:

$$\sum F = m \cdot a \quad (2.3)$$

Dengan

F = gaya

m = massa

a = percepatan

Dimana b mempengaruhi kecepatan, k mempengaruhi posisi dan $u = F$ (gaya yang diberikan

memberikan

sehingga

$$\sum F = m \cdot a$$

$$F_g + F_s = m \cdot a$$

$$\left(b \frac{dx(t)}{dt} \right) + (-kx) = m \frac{d^2y(t)}{dt^2}$$

$$b \left(\frac{du(t)}{dt} - \frac{dy(t)}{dt} \right) + k(u(t) - y(t)) = m \frac{d^2y(t)}{dt^2}$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\begin{aligned}
 b \frac{du(t)}{dt} - b \frac{dy(t)}{dt} + k u(t) - k y(t) &= m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} \\
 b \frac{du(t)}{dt} + k u(t) &= m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + b \frac{dy(t)}{dt} + k y(t) \\
 b \ddot{u}(t) + k u(t) &= m \ddot{y}(t) + b \dot{y}(t) + k y(t)
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Dari persamaan 2.4 dilakukan transformasi laplace

$$\mathcal{L}\{b \dot{u}(t) + k u(t) = m \ddot{y}(t) + b \dot{y}(t) + k y(t)\}$$

Sehingga didapatkan transformasi laplace :

$$bs u(s) + k u(s) = ms^2 y(s) + bs y(s) + k y(s)$$

$$(bs + k) u(s) = (ms^2 + bs + k) y(s)$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{bs + k}{ms^2 + bs + k}$$

Sehingga didapatkan fungsi ahlinya :

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{bs + k}{ms^2 + bs + k}$$

$$\begin{aligned}
 G(s) &= \frac{\text{output}}{\text{input}} \\
 &= \frac{Y(s)}{U(s)}
 \end{aligned}$$

Dengan parameter *Quarter Car* adalah $m = 550\text{kg}$, $b = 1250\text{Ns/m}$ dan $k = 22500\text{N/m}$

[5]. Sehingga didapatkan fungsi ahli dari *Quarter Car* menjadi :

$$G(s) = \frac{1250s + 22500}{550s^2 + 1250s + 22500} \tag{2.5}$$

2.3 Kendali Optimal LQG

Kendali optimal *linear quadratic gaussian* (LQG) didefinisikan sebagai teknik kendali modern yang diimplementasikan dalam bentuk ruang dan waktu (state space) yang digunakan

Hak Cipta Ditamini UIN Suska Riau

Model *state space* :

$$\dot{x} = Ax + Bu + v(t)$$

$$y = Cx + w(t)$$

untuk mendesain dinamik optimal regulator. Pada perjalanan perkembangan konsep, LQR (*Linear Quadratic Regulator*) mengalami pengembangan yaitu dengan menambahkan estimator optimal (*Filter Kalman*)[16]. Kalman filter adalah filter yang handal untuk mengeleminasi noise yang terdapat didalam LQG adalah Gaussian white noise[21]. Gaussian white noise (noise yang dibangkitkan dari alam) sangat berpengaruh pada respon sistem. Konsep pengembangan itu diperkenalkan pada tahun 1970 dengan nama *Linier Quadratic Gaussian* (LQG). Pada konsep LQG diperkenalkan konsep teori pemisahan (*separation theorem*) atau sering disebut *Certainty Equivalence Principle*. Dari hasil tersebut penguatan umpan balik dan filter dalam LQG dirancang secara terpisah [16].

Keterangan :

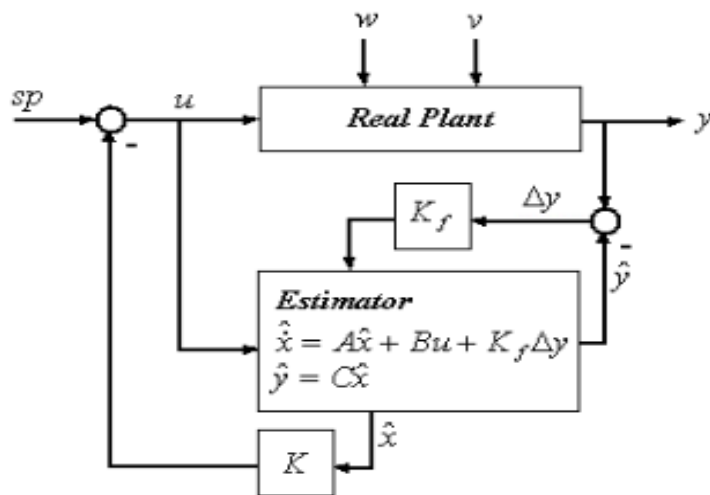
u = Sinyal Kendali Input;

y = Output Proses;

w = Gangguan Proses;

v = Gangguan Pengukuran (*white noise*);

A = Matriks *Plant*;



Gambar 2.4 Diagram Blok LQG [16]

Matrik Kendali Input;

Matrik Pengukuran;

Penguatan Umpan Balik (*Regulator*);

Penguatan *Filter Kalman*.

Penerapan umpan balik optimal dapat dinyatakan dalam bentuk blok diagram. Dari gambar diatas terlihat bahwa untuk mencari sinyal kotrol optimal u diperlukan penguatan kontroler K dan penguat estimator kalman K_f yang optimal. Untuk menjaga sistem tetap stabil, diperlukan pengendali dan estimator yang stabil. Menurut teorema pemisahan bahwa harga K dan K_f dapat diperoleh secara terpisah. pencarian harga K dilakukan seolah olah sistem bersifat deterministic, yaitu dengan metode LQR. Sementara itu, pencarian nilai K_f optimal dilakukan dengan sistem bersifat stokasti, yaitu indeks performansi variansi kesalahan minimum atau dituliskan [16]:

$$J(t_0) = \frac{1}{2} S(T) x^2(T) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^T (Qx^2 + Ru^2) \quad (2.6)$$

Besarnya harga penguat regulator adalah:

$$K = R_c^{-1} B^T S \quad (2.7)$$

Untuk mencari besarnya S dapat menggunakan persamaan Ricatti:

$$A^T S + SA - SBR_c^{-1} B^T S + Q_c = 0 \quad (2.8)$$

dengan asumsi : $Q_c \geq 0, R_c > 0$

Q_c menentukan matrik keadaan dan R_c menentukan matrik kendali.

Kalman filter merupakan estimator optimal yang berfungsi mengestimasi variabel keadaan dan menyaring *noise* (derau). Prinsip kerja estimator berdasarkan sifat rekursif, yaitu optimisasi yang dilakukan adalah dengan menekan harga *error* kovarian sekecil mungkin.

Maka, indeks performansinya atau *cost function*-nya dapat ditulis:

$$J = E\{\dot{x} - x\}^T[\dot{x} - x]\} \quad (2.9)$$

adalah harga estimasi dari variabel x dalam fungsi waktu. Estimasi variabel keadaan optimal \hat{x} diperoleh dari sistem dinamik *filter kalman* sebagai berikut:

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + K_f(y - \hat{y}) \quad (2.10)$$

Sebelum untuk menentukan penguatan filter kalman pada estimator adalah:

$$K_f = PC^T R_f^{-1} \quad (2.11)$$

Matrik P diperoleh dari persamaan *Riccati* sebagai berikut :

$$0 = PA^T + AP - PC^T R_f^{-1} CP + GQ_f G^T \quad (2.12)$$

Dengan asumsi-asumsi matrik A dan B terkendali, dan C teramati $Q_f \geq 0$, $R_f > 0$, maka filter kalman dijamin stabil asimtotik. Matrik Q_f dan R_f adalah *noise covariance*, dengan noise proses $w(t) \sim (0, Q_f)$ dan pengukuran $n(t) \sim (0, V^2 R_f)$ adalah *white noise*.

3.1 Tahapan Perancangan LQG

1. Lakukan Pemodelan
2. Linearisasikan Model Matematis
3. Membangun Feedback Regulator (K)

Mencari gain regulator (k), ditentukan terlebih dahulu besarnya metriks pembobot dan R , serta mencari nilai P yang merupakan solusi dari persamaan aljabar riccati. Matriks Q dan R dicari dengan mencoba-coba nilai matriks Q dan R (trial dan error) sampai didapatkan kinerja gain regulatir (k) yang sesuai dengan yang diinginkan.

4. Merancangan Estimator/Kalman Filter (L)

Matriks gain estimator/gain kalman (L) adalah matriks yang perlu didesain dalam perancangan kendali LQG. Untuk mendapatkan gain estimator/gain kalman (L) sebelumnya harus ditentukan terlebih dahulu Q, R dan solusi Steady-State Kalman Gain (L) dari persamaan aljabar riccati dapat di hitung. Penentuan Q dan R harus mempertimbangkan pengaruh besarnya matriks Q dan R terhadap nilai dari matriks gain estimator.gain kalman agar di

dapatkan variabel keadaan hasil estimasi yang sama atau mendekati variabel keadaan yang sebenarnya.

Metode Heuristic

Sebuah metode pemecahan masalah menggunakan eksplorasi dan cara coba-coba. Heuristik adalah suatu aturan atau metode untuk bisa menyelesaikan solusi secara penalaan. Rancangan metode Heuristic ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuaikan dengan kinerja plant yang akan dikendalikan[18].

Menurut George Poyla mendefinisikan heuristik sebagai studi tentang sebuah metode dan aturan discovery serta invention dalam pencarian state space. Heuristik didefinisikan sebagai aturan untuk memilih cabang-cabang dalam ruang keadaan yang paling tepat untuk mencapai solusi permasalahan yang dapat diterima.

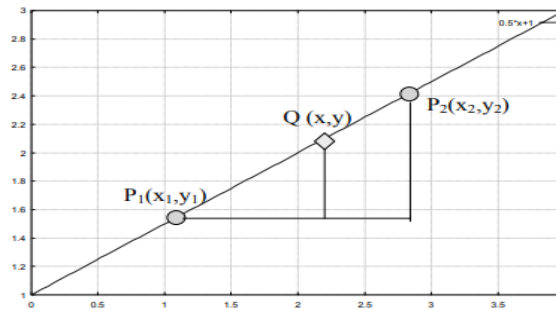
Metode Heuristik dibutuhkan karena pencarian buta (*blind search*) tidak selalu dapat diterapkan dengan baik, hal ini disebabkan waktu aksesnya yang cukup lama serta besarnya memori yang diperlukan. Dalam pencarian ruang keadaan, heuristik dinyatakan sebagai aturan untuk melakukan pemilihan cabang-cabang dalam ruang keadaan yang paling tepat untuk mencapai solusi permasalahan yang dapat diterima.

Heuristik dapat digunakan pada beberapa kondisi berikut ini (Siswanto, 2010):

1. Mengatasi *combinatorial explosion*. Ada masalah yang kemungkinan arah penyelesaiannya berkembang pesat (bersifat faktorial) sehingga menimbulkan *combinatorial explosion*. Heuristik merupakan cara untuk menentukan kemungkinan arah penyelesaian masalah secara efisien.
2. Solusi paling optimal mungkin tidak diperlukan. Dalam suatu keadaan, mungkin lebih baik mendapatkan solusi yang mendekati optimal dalam waktu yang singkat daripada solusi yang paling optimal dalam waktu yang lama.
3. Pada umumnya hasilnya cukup baik. Sekalipun tidak optimal, tetapi biasanya mendekati optimal. Membantu pemahaman bagi orang yang menyelesaikan persoalan.
4. Banyak alternatif heuristik yang dapat diterapkan dalam suatu percobaan. Orang yang menyelesaikan persoalan tersebut akan lebih mengerti persoalannya jika mencoba heuristik yang diterapkannya[19].

2.5 Interpolasi Linier

Interpolasi adalah menentukan titik-titik antara dari n buah titik dengan menggunakan suatu fungsi pendekatan tertentu. Salah satu metode interpolasi adalah interpolasi linier yaitu menentukan titik-titik antara 2 buah titik dengan menggunakan garis lurus.



Gambar 2.5 Kurva Interpolasi Linier

Persamaan garis lurus yang melalui 2 titik $P_1(x_1, y_1)$ dan $P_2(x_2, y_2)$ dapat dituliskan dengan:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (2.13)$$

Sehingga diperoleh persamaan dari interpolasi linier sebagai berikut:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1 \quad (2.14)$$

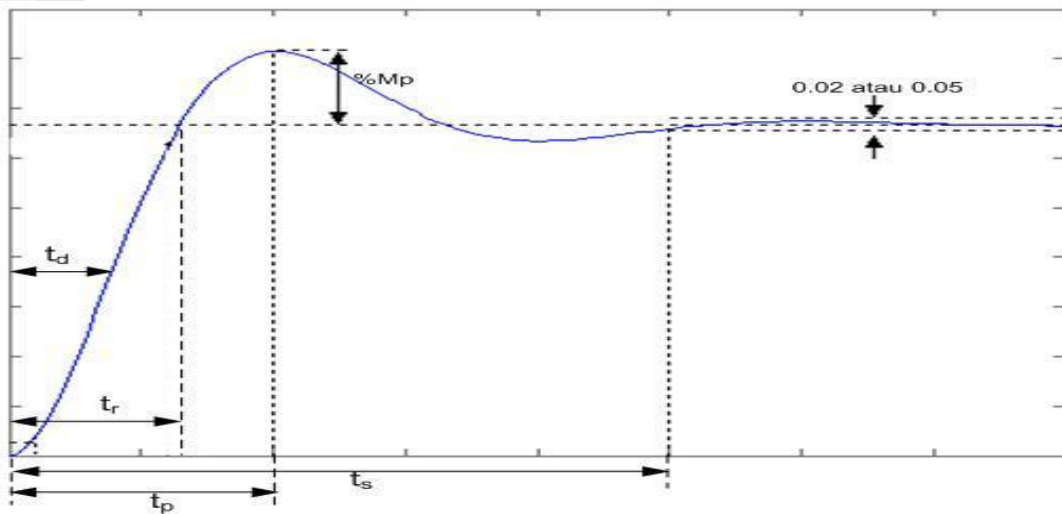
Algoritma Interpolasi Linier adalah sebagai berikut :

1. Tentukan dua titik P_1 dan P_2 dengan koordinatnya masing-masing (x_1, y_1) dan (x_2, y_2)
2. Tentukan nilai x dari titik yang akan dicari
3. Hitung nilai y dengan persamaan
4. Tampilkan nilai titik yang baru $Q(x, y)$

2.6 Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengamatan respon waktu. Metode ini mengidentifikasi sistem berdasarkan pengamatan grafis terhadap

Dasar *step*. Dimana sinyal uji diberikan kepada sistem untuk mengetahui respon sistem *open loop*. Dari respon sistem, dapat diketahui karakteristik-karakteristik penting dari sistem.



Gambar 2.6 Respon Sistem [20]

Respon transien terdiri dari:

1. Waktu tunda atau *delay time* (t_d) adalah waktu yang diperlukan agar respons mencapai 50% dari nilai kondisi tunak untuk pertama kalinya.
2. Waktu naik atau *rise time* (t_r), ini adalah waktu yang diperlukan untuk respons untuk mencapai 100% dari nilai kondisi tunak untuk sistem yang teredam. namun, untuk sistem yang lebih teredam, diperlukan respons yang diperlukan untuk naik dari 10% menjadi 90% dari nilai kondisi tunak.
3. Waktu puncak (t_p) adalah waktu yang diperlukan agar respons mencapai nilai maksimum atau puncak respons.
4. Maksimum *overshoot* (M_p). Nilai yang menyatakan perbandingan antara nilai maksimum respon (*overshoot*) yang melampaui nilai *steady state* dibanding dengan nilai *steady state*. Besarnya persen *overshoot* dinyatakan sebagai berikut:

$$\% M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (2.15)$$

5. Waktu tunak atau *settling time* (t_s), adalah ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah masuk pada daerah stabil yang ukurannya ditentukan dengan persentase melak dari harga akhir (5% atau 2%)

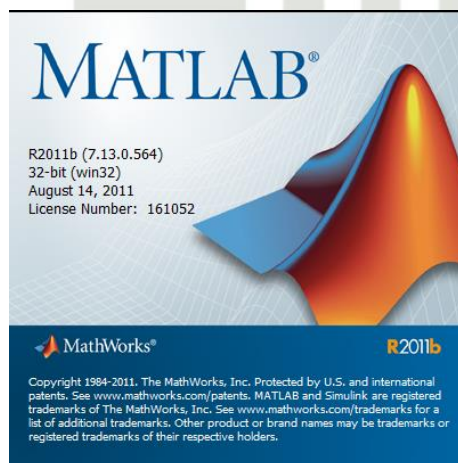
Kriteria Integral Menggunakan IAE (*Integral of Absolute Error*)

Kriteria integrasi membutuhkan data tanggapan mulai dari $t=0$ hingga mencapai keadaan tunak. Dengan demikian kriteria ini didasarkan pada seluruh tanggapan dari proses yang bersangkutan. Kriteria integral yang digunakan pada penelitian ini adalah kriteria IAE (*Integral of Absolute Error*) yang bertujuan untuk mendapatkan nilai IAE sekecil mungkin dengan pemilihan kriteria tergantung pada karakteristik sistem proses dan beberapa syarat tambahan yang diperoleh dari tanggapan lup tertutup. Kriteria IAE lebih dipopuler dikalangan praktisi industri sebab mudah dalam pemakaiannya serta sangat cocok untuk menekan error yang kecil.

$$IAE = \int_0^{\infty} |e| dt \quad (2.16)$$

2.8 Perangkat Lunak Matlab

Matlab merupakan suatu program komputer yang bisa membantu memecahkan berbagai masalah matematis yang kerap kita temui dalam bidang teknis. Matlab merupakan sebuah singkatan dari Matrix Laboratory, yang pertama kali dikenalkan oleh University of New Mexico dan University of Stanford pada tahun 1970. Software ini pertama kali memang digunakan untuk keperluan analisis numerik, aljabar linier dan teori tentang matriks.



Gambar 2.7 Tampilan awal MATLAB

Fitur yang akan dipakai pada Matlab R2013a adalah Simulink. Simulink merupakan sebuah kumpulan aplikasi dalam Matlab untuk melakukan modeling, simulasi, dan untuk melakukan analisis dinamik pada suatu sistem. Program simulink memudahkan user untuk membuat suatu simulasi lebih interaktif. Tiruan sistem diharapkan mempunyai perilaku yang senyatanya dengan sistem fisik. Jika digunakan dengan benar, simulasi akan membantu proses analisis dan desain sistem. Simulink dalam Matlab juga dapat menunjukkan performansi sistem dalam bentuk dua ataupun tiga dimensi. Dalam perancangannya user menjadi mudah karena adanya blok-blok diagram yang dapat dengan mudah diatur sedemikian rupa, sesuai dengan model matematis dari sistem atau plant yang akan dikendalikan.

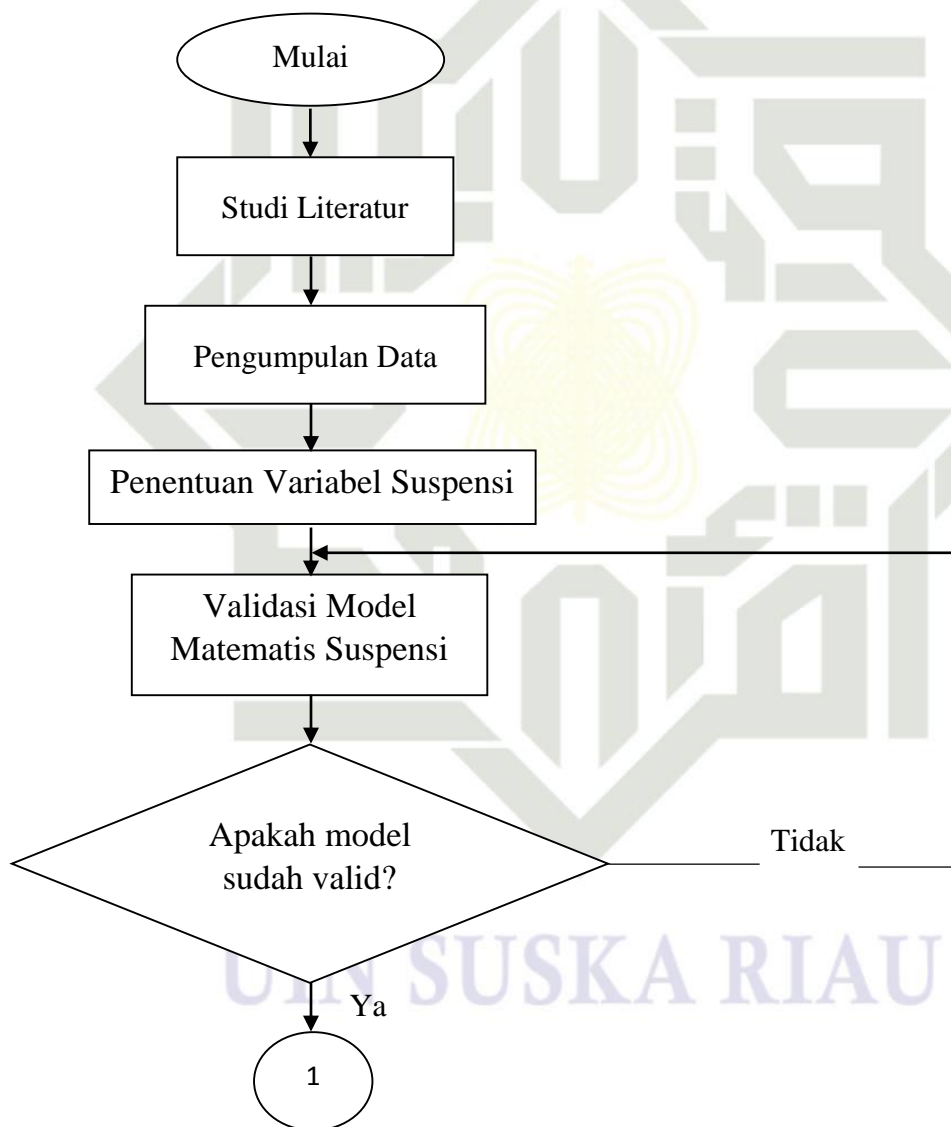
Hak Cipta Ditamini UIN Suska Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flow Chart Metode Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahap atau langkah-langkah yang penulis lakukan dalam proses perancangan pengendali menggunakan metode LQG. Adapun tahapan yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut:

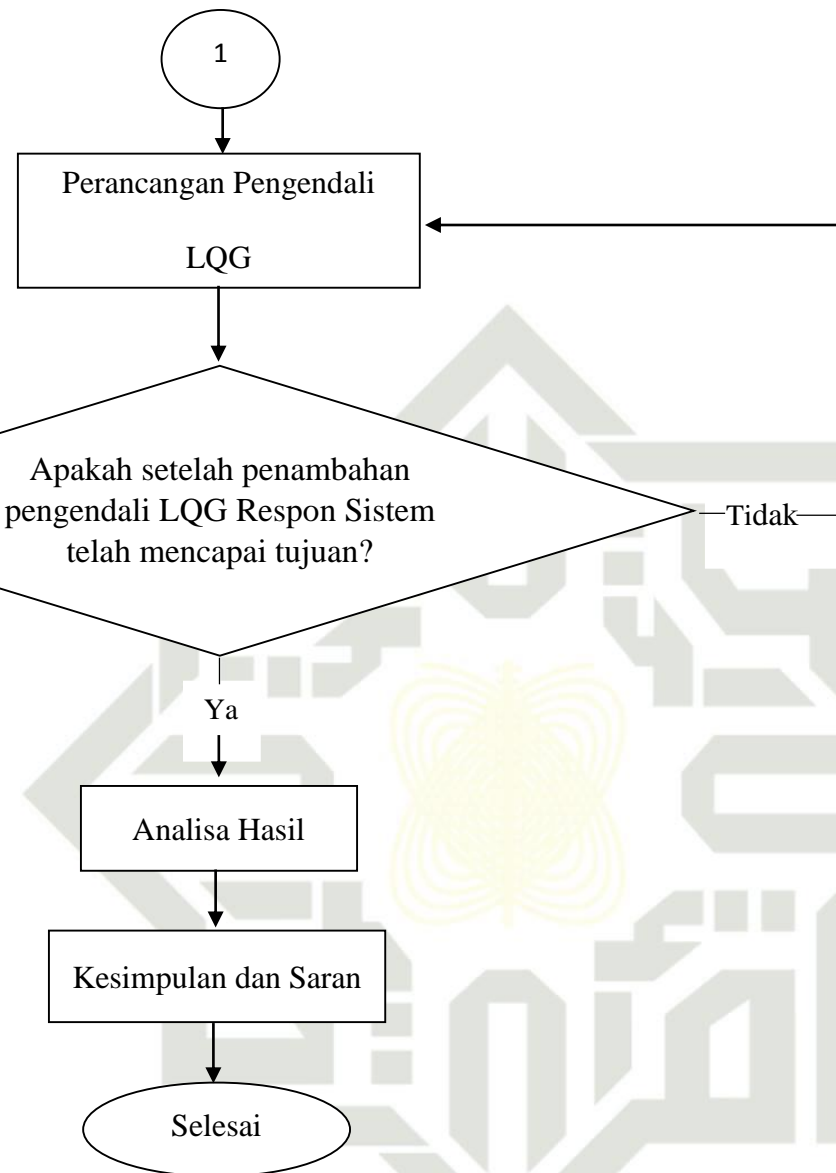


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.1. *Flow Chart* Penelitian

Agar dapat mencapai tujuan yang diharapkan yang akan dilakukan pada penelitian ini meliputi perumusan masalah, penentuan judul, sampai dengan tujuan yang diinginkan dari suatu penelitian yang dilakukan. Oleh karena itu, terdapat beberapa tahap perancangan yang harus dilakukan yaitu:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh Karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Identifikasi Sebelas disiplin ilmu dan sepele Studi Sete selar deng yang mod Peng Dari peng yang sepe Pene Sete selar *space* Vali Vali mate men dari Pera Lang Akm

Studi Literatur

Pengumpulan Data

Penentuan Variabel

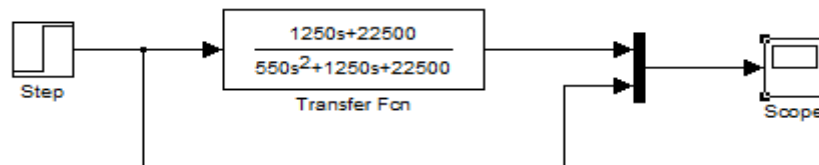
$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u \\ y &= \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}u\end{aligned}$$

Validasi model matematis dilakukan dengan cara menyimulasikan model matematis secara *open loop* menggunakan Simulink Matlab. Selanjutnya yaitu menyesuaikan respon sistem yang didapat dengan respon sistem yang dihasilkan dari penelitian terkait sebelumnya, lalu analisa respon sistem tersebut.

Langkah selanjutnya adalah merancang pengendali yang digunakan dalam Tugas Akhir ini yaitu pengendali optimal LQG.

3.2 Validasi Model Matematis

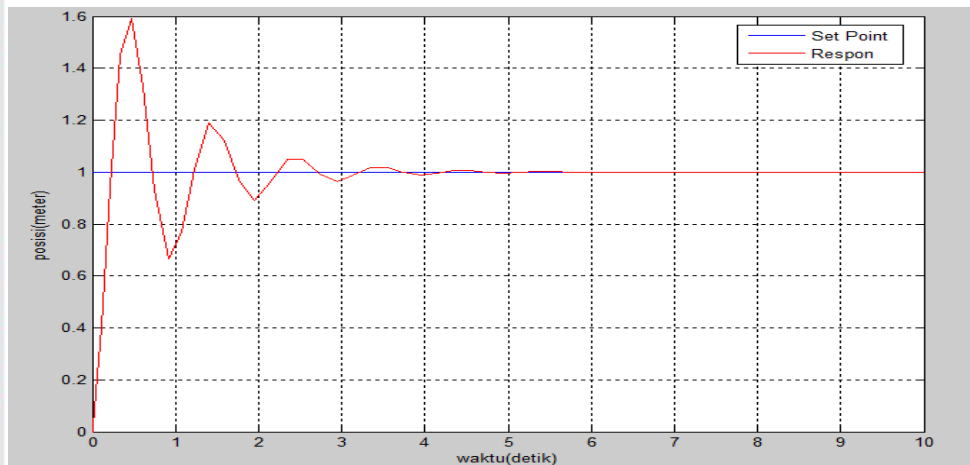
Untuk menguji kebenaran data-data yang telah dikumpulkan maka dilakukan simulasi. Simulasi ini menggunakan *software* matlab Simulink R2009a yang dilakukan secara *open loop*, dengan cara memasukkan *transfer* fungsi *plant* kedalam blok diagram pada Simulink matlab.



Gambar 3.2 Diagram blok Simulasi *open loop*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengutip sumber.
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.3 Hasil Respon Sistem *Transfer Fungsi Secara Open Loop*

Gambar 3.3 menunjukkan hasil keluaran fungsi ahli yang diterapkan pada *Simulink* matlab, sistem sudah menunjukkan hasil yang sama sesuai dengan rujukan. Namun hasil respon sistem tidak stabil dan terdapat *overshoot* yang cukup besar. Sehingga berdasarkan simulasi tanpa pengendali maka sistem suspensi kendaraan seperempat perlu dipasangkan pengendali yang dapat menghilangkan *overshoot* dan menstabilkan sistem tersebut.

3.3 Perancangan Pengendali LQG

Pada tahapan ini akan dilakukan perancangan sistem pengendalian menggunakan metode *Linear quadratic gaussian* (LQG) setelah dilakukan pemodelan sistem.

Dimana, penentuan matriks pembobot Q dan R berpedoman pada :

- a. Semakin besar harga matriks Q, maka akan memperbesar harga elemen matriks gain kendali dan mempercepat sistem mencapai *steady state*.
- b. Semakin besar harga matriks R, maka akan memperkecil harga elemen matriks gain kendali dan memperlambat sistem mencapai *steady state*.

Untuk mendapatkan nilai dari matriks pembobot yang optimal pada pengendali LQG, dilakukan metode heuristik. Metode heuristik merupakan sebuah metode pemecahan masalah menggunakan eksplorasi dan cara coba-coba. Heuristic adalah suatu aturan atau metode untuk bias menyelesaikan solusi secara penalaran. Rancangan metode heuristic ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuaikan dengan kinerja plant yang akan dikendalikan. Adapun alur penentuan nilai gain pada LQG sebagai berikut :

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengutipkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- © Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dimulai dengan mengubah nilai R dan R_f menjadi konstan dan memberi nilai Q dan Q_f 0. Perhatikan respons sistem apakah sudah menyerupai model atau tidak. Jika tidak atau tidak ada respons dari sistem, beri nilai Q 5 dan Q_f 120. Jika belum ada perubahan naikkan nilai Q menjadi 15, 20, 25, 30, dan Q_f menjadi 240, 360, 480, 600 ... 720~ sampai terjadi perubahan pada respons sistem. Jika perubahan respons semakin mendekati model, lanjutkan penaikan nilai gain sampai respons sistem persis seperti model. Jika perubahan respons semakin menjauhi model, ubah nilai Q menjadi 200 dan Q_f 5000 negatif dan lanjutkan penaikan nilai gain sampai respons sistem persis seperti model.
- d. Pemilihan nilai gain adaptasi yang kecil menghasilkan respon plant yang lambat dalam mengikuti model referensinya, sebaliknya nilai gain adaptasi yang besar menghasilkan respon sistem berosilasi.

Untuk keperluan perancangan kendali optimal LQG, *transfer function* perlu dikembalikan dalam bentuk *state space* sebagai berikut :

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1250s + 22500}{550s^2 + 1250s + 22500}$$

Setelah fungsi alih di dapatkan maka di ubah dalam bentuk transformasi *laplace* sebagai berikut:

$$1250s U(s) + 22500 U(s) = 550s^2 Y(s) + 1250s Y(s) + 22500 Y(s)$$

Dari turunan transfer fungsi pada persamaan sistem suspensi seperempat kendaraan, kemudian diturunkan dengan menggunakan metode *inverse* transformasi *laplace* balik sehingga diperoleh persamaan differensial orde dua sebagai berikut :

$$\mathcal{L}^{-1}\{1250s U(s) + 22500 U(s) = 550s^2 Y(s) + 1250s Y(s) + 22500 Y(s)\}$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengutip sumber.

2. Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4. Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$550 \frac{du(t)}{dt} + 22500u(t) = 550 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 1250 \frac{dy(t)}{dt} + 22500y(t)$$

$$550\ddot{u} + 22500u = 550\ddot{y} + 1250\dot{y} + 22500y$$

$$550\ddot{y} = 550\ddot{u} + 1250\dot{y} + 22500y - 1250\dot{u} - 22500u$$

$$1250\ddot{y} + 22500 - 1250\dot{u} - 22500u$$

$$- 550$$

$$= -2.2727\dot{y} - 40.9091y + 2.2727\dot{u} + 40.9091u$$

Definisikan variabel state:

$$= y \rightarrow \dot{x}_1 = x_2 = \dot{y}$$

$$= \dot{y} \rightarrow \dot{x}_2 = \ddot{y} = -2.2727\dot{y} - 40.9091y + 2.2727\dot{u} + 40.9091u$$

$$= \dot{y} \rightarrow \dot{x}_2 = \ddot{y} = -2.2727x_2 - 40.9091x_1 + 2.2727\dot{u} + 40.9091u$$

Menjabarkan state yang diperoleh sebagai berikut :

$$x_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = \ddot{y} = -40.9091x_1 - 2.2727x_2 + 2.2727\dot{u} + 40.9091u$$

Membentuk matriks $\dot{x} = Ax + Bu$ dan $y = Cx + Du$ sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -40.9091 & -2.2727 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 2.2727 \end{bmatrix} \dot{u} + \begin{bmatrix} 0 \\ 40.9091 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} U$$

Diperoleh persamaan keadaan matrik $\dot{x} = Ax + Bu$ sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 40.9091 & -2.2727 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 2.2727 \end{bmatrix} \dot{u} + \begin{bmatrix} 0 \\ 40.9091 \end{bmatrix} u \quad (3.1)$$

Dengan persamaan keluaran matrik $y = Cx + Du$ sebagai berikut:

$$y = \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} U \quad (3.2)$$

Dari persamaan *state space* (3.1) dan persamaan *output* (3.2), dapat ditentukan matriks *state space* A,B,C,D sebagai berikut :

Setelah mendapatkan matrik state space dari fungsi alih, maka bisa langsung diimplementasikan dengan software Matlab 2009a.

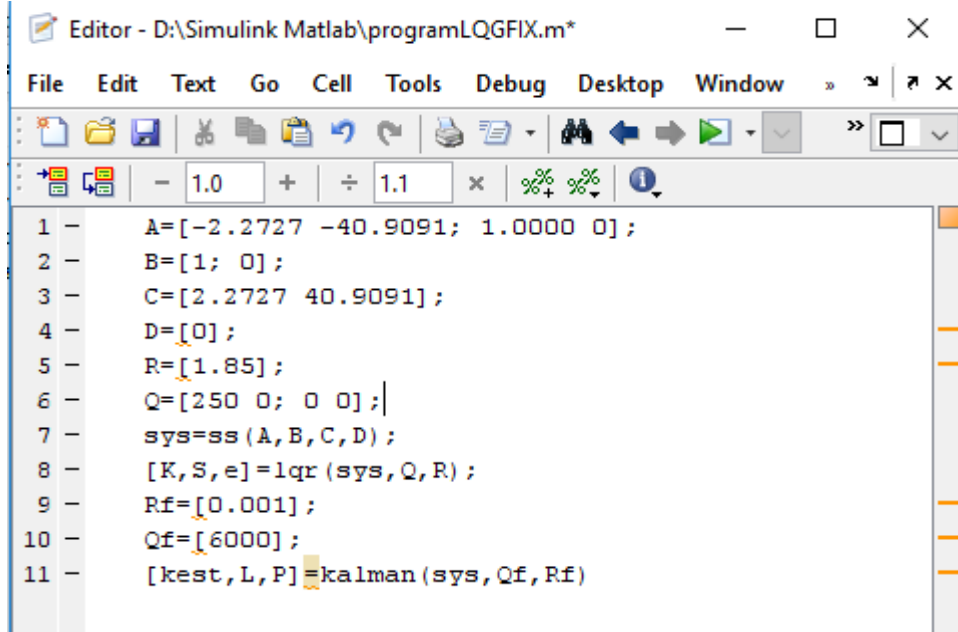
Setelah mendapatkan matrik state space dari fungsi alih, maka bisa langsung disimulasikan dengan software Matlab 2009a.



Gambar 3.5 di bawah ini menunjukkan perhitungan yang dilakukan software Matlab R2009a dengan menambahkan persamaan *state space* dari sistem dan pengendali LQG untuk melihat nilai matriks pembobot R, Q, R_f, dan Q_f yang optimal sehingga mencapai *setpoint* yang diinginkan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



```

1 - A=[-2.2727 -40.9091; 1.0000 0];
2 - B=[1; 0];
3 - C=[2.2727 40.9091];
4 - D=[0];
5 - R=[1.85];
6 - Q=[250 0; 0 0];
7 - sys=ss(A,B,C,D);
8 - [K,S,e]=lqr(sys,Q,R);
9 - Rf=[0.001];
10 - Qf=[6000];
11 - [kest,L,P]=kalman(sys,Qf,Rf)
  
```

Gambar 3.5 Tampilan Tuning Matriks Pembobot Kendali LQG pada M-File

BAB V

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa untuk mengatur posisi pada sistem suspensi kendaraan seperempat menggunakan pengendali LQG, didapatkan bahwa LQG mampu menghasilkan respon yang baik. Dibuktikan dari nilai *overshoot* 0%, *rise time* 0.44 detik, *delay time* 0.193 detik, *settling time* 0.704 detik, dan *error steady state* 0. Sehingga dapat dikatakan bahwa pengendali LQG yang dirancang mampu mencapai tujuan yang diinginkan.

Saran

Untuk pengembangan penelitian sistem lebih lanjut, maka dapat dilakukan dengan memperbanyak perubahan variasi matriks pembobot Q dan Q_f untuk mendapatkan performa sistem yang terbaik sesuai dengan yang diinginkan. Selain menggunakan kendali optimal yang telah digunakan pada penelitian ini, dapat dilakukan pengembangan metode kendali yaitu dengan menggunakan metode kendali lain seperti kendali cerdas.

DAFTAR PUSTAKA

- Wahyudi, Rudy S. “*Perancangan Kendali Suspensi Aktif*”. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Industri Universitas Trisakti, 2016.
- Ariyanto, Andi. “*Analisis Kestabilan Sistem Suspense Mobil Seperempat Kendaraan Dengan Metode Lyapunov Langsung*”. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta, 2015.
- Rohmad. “*Desain Dan Analisis Kendali Sistem Suspensi Menggunakan PID Dan Logika Fuzzy*”. Jurusan Fisika, Universitas Negeri Semarang, 2015.
- Om, B., Sumardi & Aris, T. 2013. “*Desain Auto Tuning PID Menggunakan Logika Fuzzy Pada Sistem Suspensi Aktif Tipe Paralel Nonlinear Model Kendaraan Seperempat*”. Jurusan Teknik Elektro. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Nitish, Katal. “*Optimization of PID Controller for Quarter-Car Suspension System Using Genetic Algorithm*”. Departement Of ECE, Amity University, Rajasthan, Jaipur, India 2012.
- Michael Akpapakvi. “*Modeling And Control of a Car Suspension System Using P, PI, PD, GA-PID and Auto Tuned PID Controller Matlab/Simulink*”. Mechanical Engineering Department, Accra Technical University, 2017.
- Darus, Rosheila. Enzai, Nur Idawati. “*Modeling and Control Active Suspension System for a Quarter Car Model*”. Universitas Teknologi Mara Terengganu, Malaysia. 2010.
- Susatio, Yerri. Biyanto, Totok R. “*Perancangan Sistem Suspense Aktif Pada Kendaraan Roda Empat Menggunakan Pengendali Jenis Robust Proporsional, Integral Dan Derivative*”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Chen, Shian. He, Ren. dkk. “*An Optimal Design For Suspension Based on LQG Control*”. School of Automotive and Traffic Engineering, Jiangsu University, 2013.
- Ashil, dkk. “*Desain Kontroler LQG/LTR Pada Sistem Kendali Tegangan Keluaran Buck Converter*”. Fakultas Teknik, Universitas Padang, 2014.

- S. Annisa Dwi. *"Sistem Kendali dan Navigasi Wahana Bawah Air Tanpa Awak Untuk Menunjang Pertahanan dan Keamanan Negara"*. Institut Teknologi Surabaya, 2012.
- Tadeus, Dista Yoel. *"Simulasi Kendali Daya Reaktor Nuklir Dengan Teknik Kontrol Optimal"*. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, 2012.
- Aly, Ayman A. *"Car Suspension Control System: Basic Principles"*. Mechatronics Section At Taif University, Saudi Arabia, 2012.
- Honghai Lui, Huijun Gao, Ping Li. *"Handbook Of Vechicle Suspension Control System"*. IET Control Engineering Series 92.
- Ogata, K. 1994. Teknik Kontrol Automatic (Sistem Pengaturan), Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Lewis, Frank L. *"Applied Optimal Kendali & Estimation (Digital Design & Implementation)"*. Prentice Hall International Inc, 1992.
- Ahusda, Prayunanta dan katherin Indriawati. *"Penerapan Kontrol Optimal LQG Pada Sistem Kontrol Cascade PI&P Untuk Pengendalian Temperatur Steam Di superheater."* Jurusan Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Permata, Sari Ranti. *"Penalaan Parameter Kontrol PID dengan Metode Heuristik Aplikasi Sistem Pengendalian Kecepatan Motor DC"*. Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung.
- Hayadi, Elson, dkk. *"Kecerdasan Buatan (Metode Heuristic)"*. Jurusan Teknik Informatika Sekolah Tinggi Teknik PLN. 2015
- Ogata, Katsuhiku. *"Modern Control Engineering"*. Prentice Hall. 2002.
- Qamarudin, M Nur. *"Cerita singkat tentang Linear Quadratic Gaussian Regulator"*. 2016.
- Hespanha, J. P. 2007. *"LQG/LQR Kontroller Design"*. João Hespanha

LAMPIRAN A

**TABEL ANALISA UJI COBA PENGENDALI LQG PADA SISTEM SUSPENSI
MENGUNAKAN METODE HEURISTIK**

	R	Q	Q_f	R_f	Analisa IAE
1	1.85	0	0	0.001	0.5613
2	1.85	5	120	0.001	0.4571
3	1.85	10	240	0.001	0.3968
4	1.85	15	360	0.001	0.3571
5	1.85	20	480	0.001	0.3287
6	1.85	25	600	0.001	0.3027
7	1.85	30	720	0.001	0.2907
8	1.85	35	840	0.001	0.2773
9	1.85	40	960	0.001	0.2664
10	1.85	45	1080	0.001	0.2531
11	1.85	50	1200	0.001	0.2497
12	1.85	55	1320	0.001	0.2433
13	1.85	60	1440	0.001	0.2381
14	1.85	65	1560	0.001	0.2336
15	1.85	70	1680	0.001	0.2297
16	1.85	75	1800	0.001	0.2263
17	1.85	80	1920	0.001	0.2235
18	1.85	85	2040	0.001	0.221
19	1.85	90	2160	0.001	0.219
20	1.85	95	2280	0.001	0.2172
21	1.85	100	2400	0.001	0.2158
22	1.85	105	2520	0.001	0.2147
23	1.85	110	2640	0.001	0.2138
24	1.85	115	2760	0.001	0.2131
25	1.85	120	2880	0.001	0.2127
					Lanjutan ↓

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

50	1.85	245	5880	0.001	0.2468
51	1.85	250	6000	0.001	0.2493
52	1.85	255	6120	0.001	0.2518
53	1.85	260	6240	0.001	0.2543
54	1.85	265	6360	0.001	0.2568
55	1.85	270	6480	0.001	0.2593
56	1.85	275	6600	0.001	0.2618
57	1.85	280	6720	0.001	0.2643
58	1.85	285	6840	0.001	0.2668
59	1.85	290	6960	0.001	0.2693
60	1.85	295	7080	0.001	0.2718
61	1.85	300	7200	0.001	0.2881
62	1.85	305	7320	0.001	0.2890
63	1.85	310	7440	0.001	0.2931
64	1.85	315	7560	0.001	0.2971
65	1.85	320	7680	0.001	0.3001
					Lanjutan ↓
85	1.85	420	10080	0.001	0.3289
86	1.85	425	10200	0.001	0.331
87	1.85	430	10320	0.001	0.3331
88	1.85	435	10440	0.001	0.3352
89	1.85	440	10560	0.001	0.3483
90	1.85	445	10680	0.001	0.3504
91	1.85	450	10800	0.001	0.3525
92	1.85	455	10920	0.001	0.3646
93	1.85	460	11040	0.001	0.3767
94	1.85	465	11160	0.001	0.3888
95	1.85	470	11280	0.001	0.3909

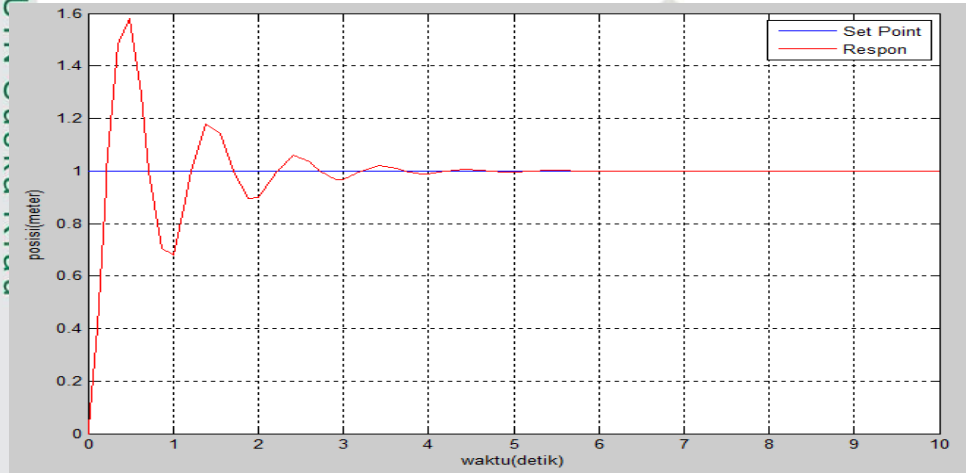
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

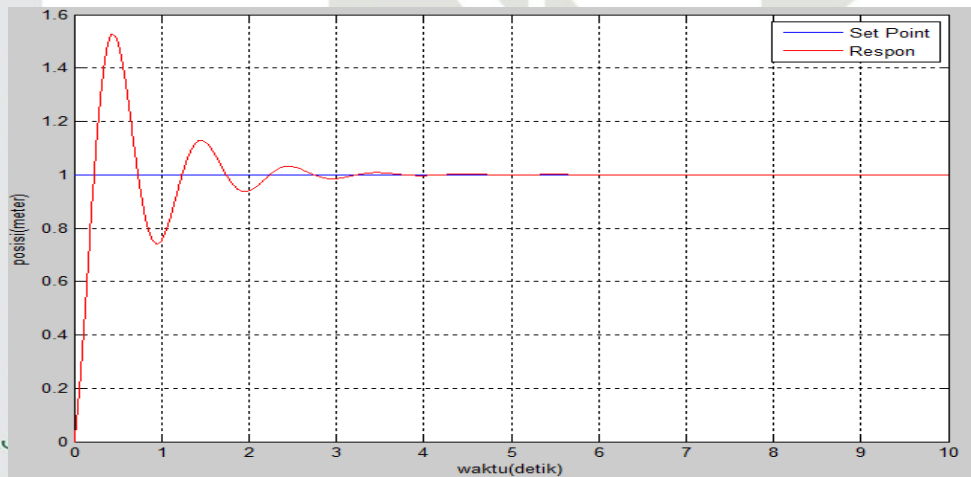
LAMPIRAN B

PROSES UJI COBA PENGENDALI LQG PADA SISTEM SUSPENSI MENGUNAKAN METODE HEURISTIK

1. Hasil simulasi pengendali LQG dengan $R = 1.85$, $Q = 0$, $Q_f = 0$, $R_f = 0.001$



2. Hasil simulasi pengendali LQG dengan $R = 1.85$, $Q = 5$, $Q_f = 120$, $R_f = 0.001$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

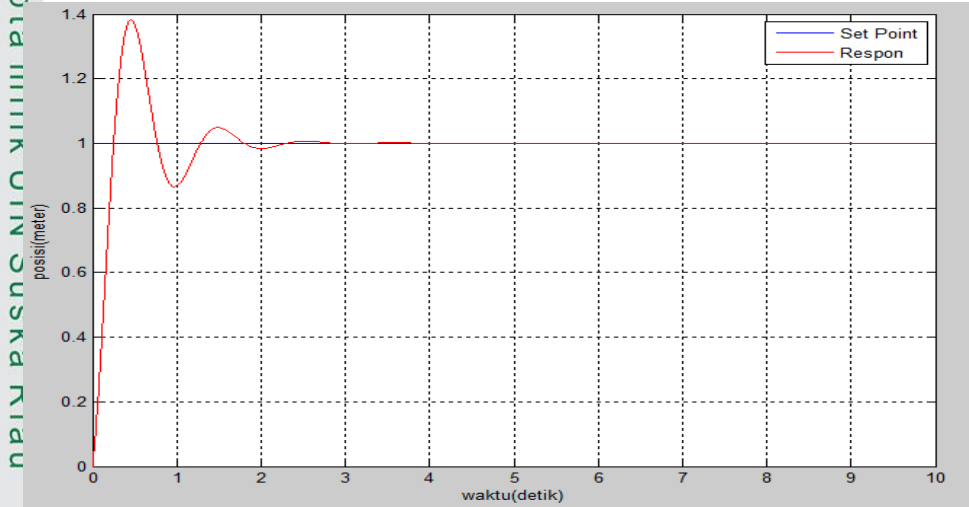
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

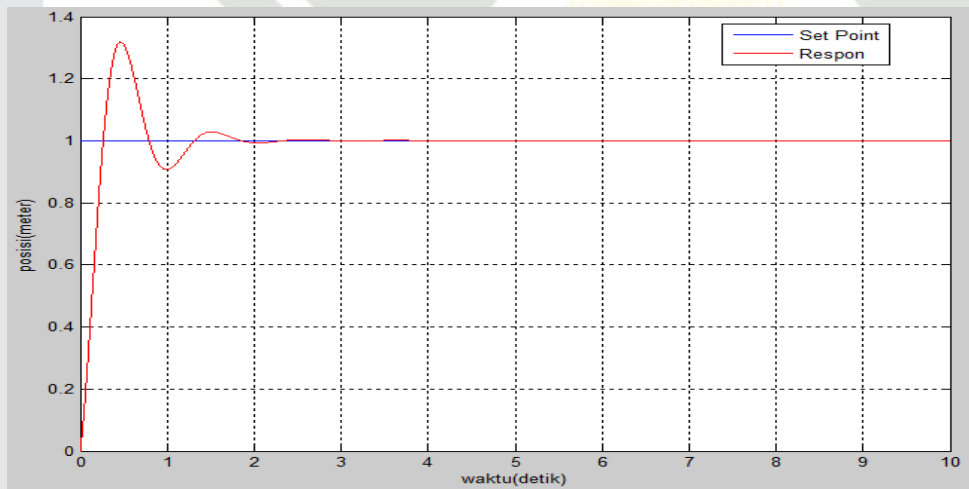
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Hasil simulasi pengendali LQG dengan $R = 1.85$, $Q = 20$, $Q_f = 480$, $R_f = 0.001$



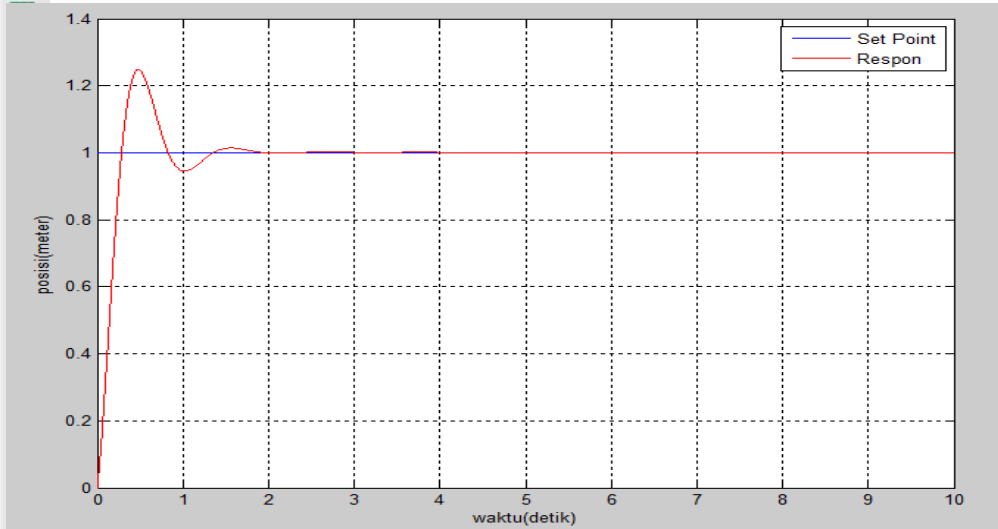
4. Hasil simulasi pengendali LQG dengan $R = 1.85$, $Q = 30$, $Q_f = 720$, $R_f = 0.001$



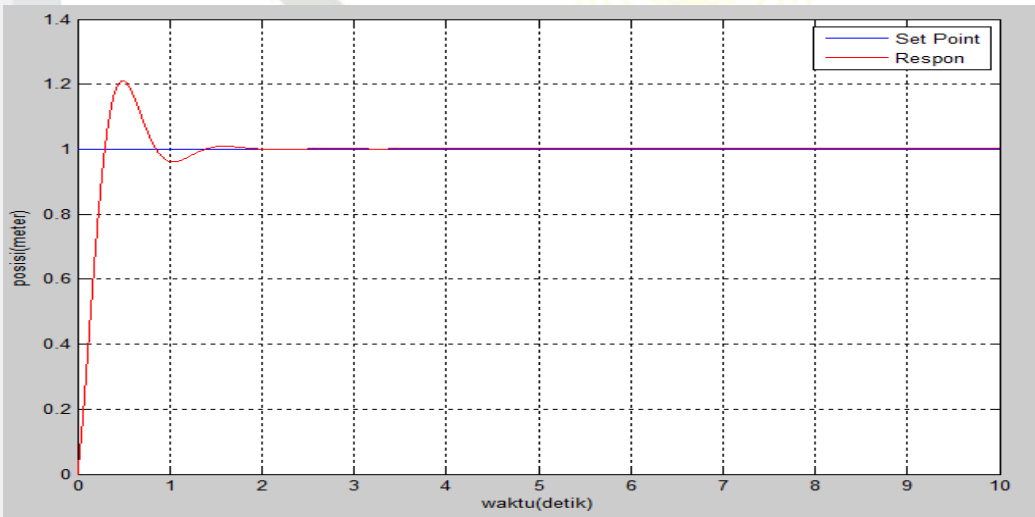
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

5. Hasil simulasi pengendali LQG dengan $R = 1.85$, $Q = 45$, $Q_f = 1080$, $R_f = 0.001$



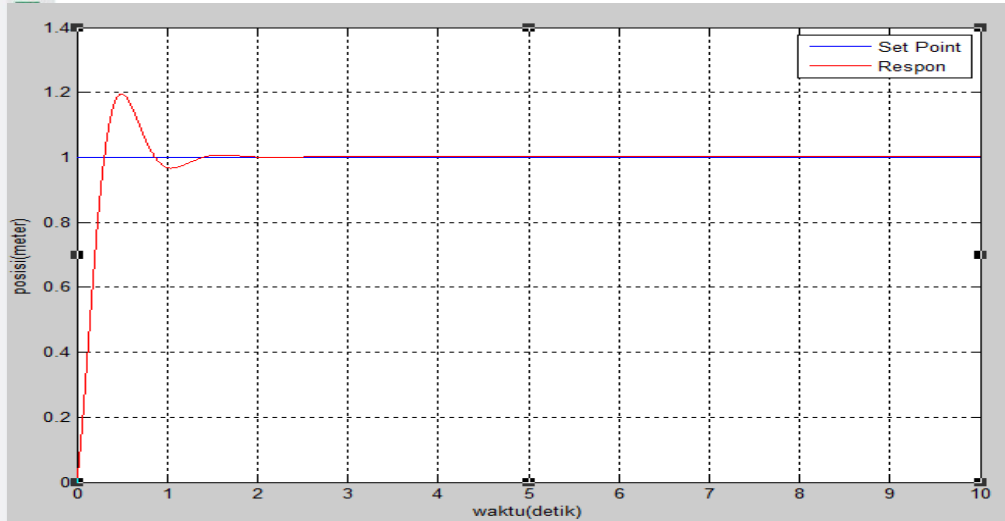
6. Hasil simulasi pengendali LQG dengan $R = 1.85$, $Q = 55$, $Q_f = 1320$, $R_f = 0.001$



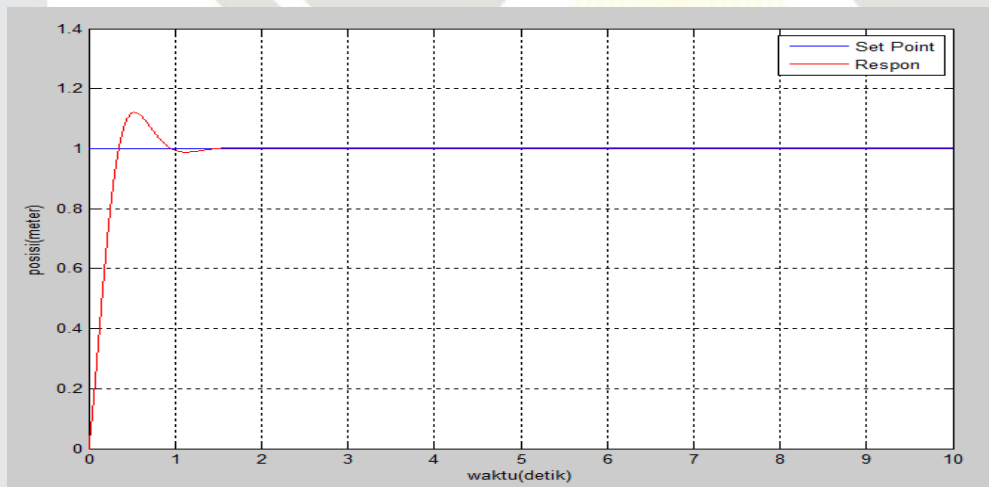
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Hasil simulasi pengendali LQG dengan $R = 1.85$, $Q = 65$, $Q_f = 1560$, $R_f = 0.001$



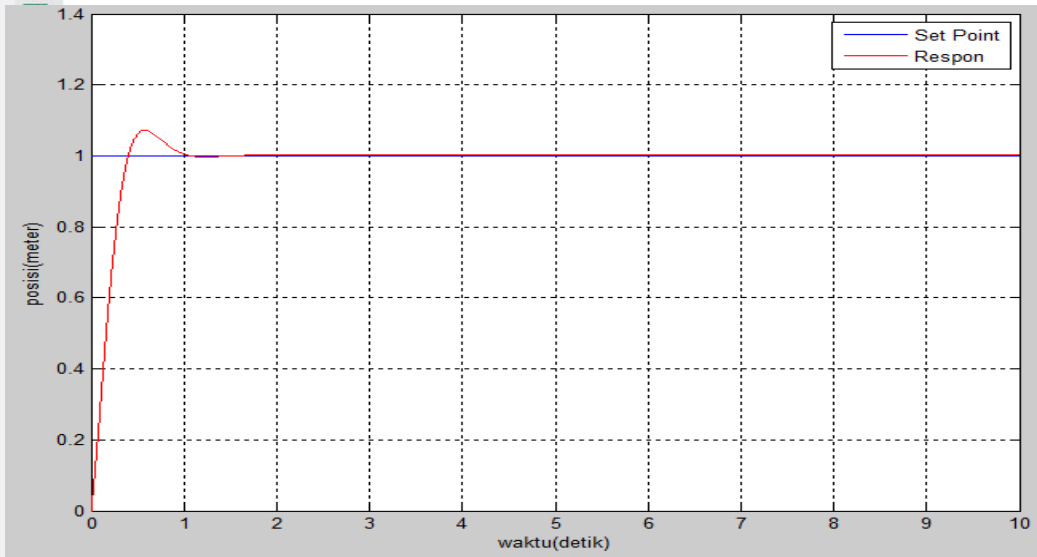
8. Hasil simulasi pengendali LQG dengan $R = 1.85$, $Q = 90$, $Q_f = 2160$, $R_f = 0.001$



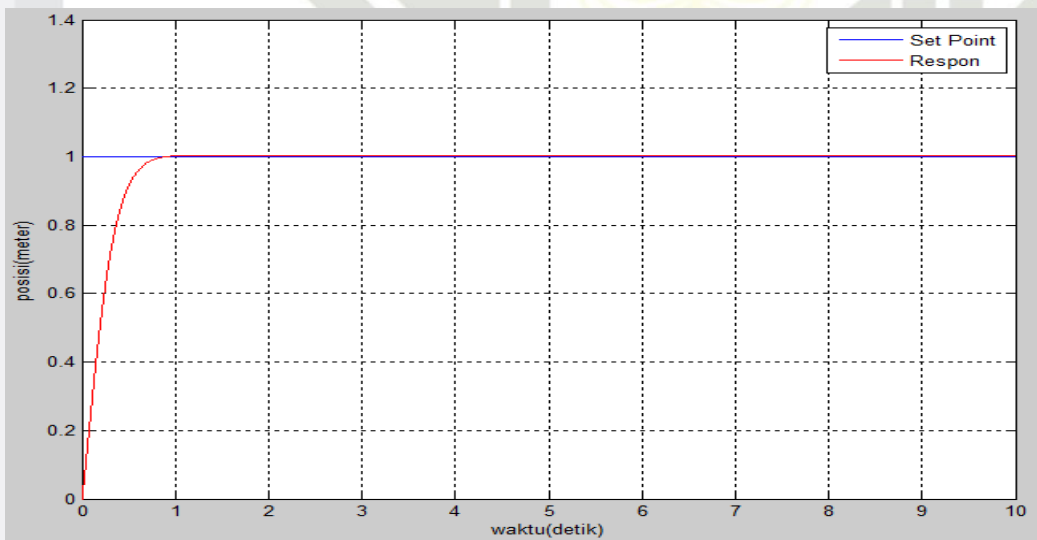
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

9. Hasil simulasi pengendali LQG dengan $R = 1.85$, $Q = 105$, $Q_f = 2520$, $R_f = 0.001$



10. Hasil simulasi pengendali LQG dengan $R = 1.85$, $Q = 250$, $Q_f = 6000$, $R_f = 0.001$

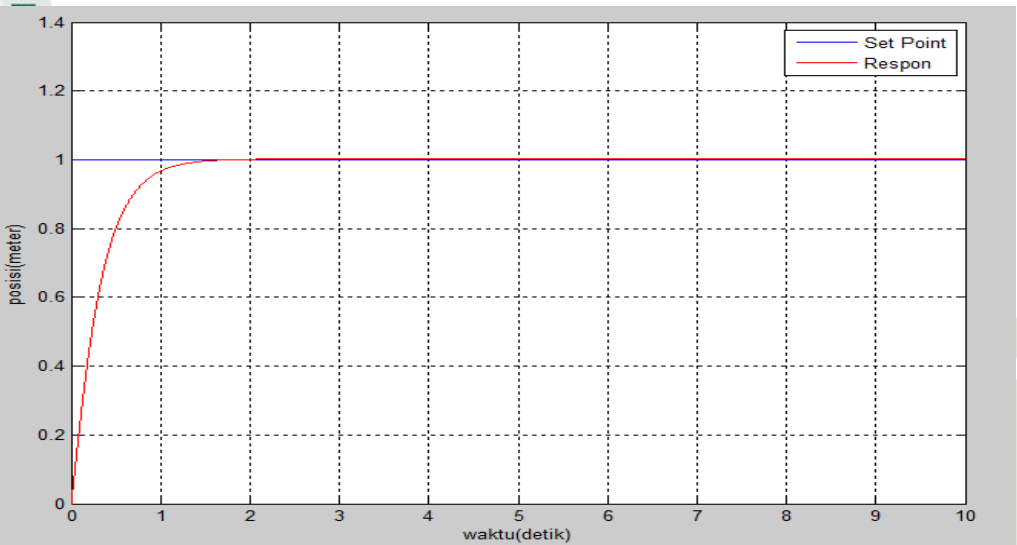


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak ci

1 Hasil simulasi pengendali LQG dengan $R = 1.85$, $Q = 420$, $Q_f = 10080$, $R_f = 0.001$



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Jia Dofela, lahir di Duri pada tanggal 18 Juli 1996, merupakan anak ketiga dari empat bersaudara pasangan Dotrin dan Novesni yang beralamat di Jl. Nusantara 1, Kec. Mandau, Kab. Bengkalis, Prov. Riau.

Email : jiadofela18@gmail.com

HP : 085263364232

Pengalaman pendidikan yang di lalui di mulai pada SDN 47 Air Jamban, pada tahun 2002 – 2008, selanjutnya Sekolah Menengah Pertama pada tahun 2008 – 2011 di SMPN 18 Mandau. Setelah menyelesaikan pendidikan di SMP, penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Mandau pada tahun 2011 – 2014 dan kemudian melanjutkan pendidikan nya di salah satu perguruan tinggi Negeri Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Elektronika dan Instrumentasi Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA RIAU pada tahun 2014. Dalam masa studinya di kampus UIN SUSKA RIAU, penulis menyelesaikan pendidikan pada tahun 2019 dengan penelitian Tugas Akhir yang berjudul “Desain Kendali Optimal Metode *Linear Quadratic Gaussian* (LQG) untuk Pengendalian Sistem Suspensi Kendaraan Seperempat”.